

土 木 研 究 所 資 料

機械化施工における施工管理手法の合理化

平成3年3月

建設省土木研究所
機械施工部機械研究室
機械施工部施工研究室

「Copyright © (1991) 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。」

機械化施工における施工管理手法の合理化

機械研究室	室	長	杉	山	篤
	室	長	長		次
	主任	研究員	村	松	光
			橋	本	仁
施工研究室	室	長	苗	村	三
	研	員	境	中	昭
	究	員	田	坪	貢
			下	賢	一

* 現中国地方建設局中国技術事務所

** 現関東地方建設局宇都宮国道工事事務所

要 旨

機械化施工において、その結果を見ながら施工することは、施工の高度化、合理化や施工品質の向上を推進する上で重要な役割を担っている。

土木施工の中で中心的な土工、コンクリート工、舗装工、軟弱地盤処理工を対象に、即時的な管理、面的な管理を可能にする管理機器の開発及び現場適応性を調査し、その運用について提言したものである。

キーワード：機械化施工、施工管理、情報化施工、管理、締固め、アスファルト舗装、軟弱地盤処理、コンクリート工

ま え が き

今日、わが国経済社会は、都市化、国際化、情報化、高齢化などの新しい動きの中で、技術革新を背景として大きく転換しようとしている。これに伴い、社会資本に対する国民のニーズもますます多様化・高度化してきており、21世紀初頭にわが国が迎える本格的な高齢化社会を前に、質的にも量的にも充実した社会資本の効率的な整備が必要となっている。また、将来の社会資本施設の蓄積に伴う維持管理費、施設更新費の増大等に対応するためにも、国民のニーズに応え得る質の高い社会資本の整備が求められている。一方、近年の建設事業を取り巻く環境として、建設労働者の高齢化、熟練技能工の不足、労働災害の増加といったさまざまな問題があり、また、建設工事特有の過酷な作業条件や他産業に比較して伸び悩んでいる労働生産性の改善等は建設事業のイメージの向上あるいは若者にとって魅力ある建設産業の創設にとって重要な課題となっている。そして、このような問題を解決するためには、建設事業の機械化をより一層推進し、建設工事の効率化、省力化、あるいは構造物の高品質化等を進めるとともに、建設作業の安全性の向上、作業環境の改善等を図り、建設事業を高度化、効率化していくことが必要となっている。さらに、最近では、これらの要請に応える有効な手段として、建設作業の自動化・ロボット化に期待が寄せられ、このような高度な技術の開発が急がれているところである。

建設事業における機械化は、戦後、建設機械・施工法の開発とともに急速に普及し、現在では建設作業のほとんどが建設機械による施工となっている。また、建設機械自体についても、近年の大規模土木工事・都市土木工事の増加あるいは人件費・機械経費の節減等に対応していくため、大型機種あるいは小型機種の開発、汎用化、低公害化等が進められ、その性能も著しく向上し、公共事業においてもその円滑かつ効率的な実施に大きく寄与しているところである。このように、個々の建設機械、個々の建設作業については、機械の開発等による合理化がかなり進展してきていると考えることができるが、建設工事の施工全体を見た場合には、機械化施工に付随する施工管理の面で、その合理化の遅れがみられる。すなわち、工事中の工程管理、出来形管理、品質管理等について、一部の施工法においてはマイクロコンピュータと計測装置の組み合わせによる管理手法が導入されているものの、土工などの伝統的な工種においてはその施工管理にまだまだ多くの時間と労力を要し、工事全体の合理化を進めていく上での障害となっている。したがって、建設事業の機械化の推進により施工の合理化を図っていくためには、施工管理の合理化は非常に重要な項目であるといえる。

本報告はこのような背景のもと、施工中にリアルタイムに品質管理を行える手法など、機械化施工あるいは情報化施工に適合した施工管理・品質管理のあり方を見出し、建設施工の合理化・高度化を図ることを目的として、昭和62年度からの3年間に実施した調査研究成果を取りまとめたものである。

目 次

1. 研究の目的	1
2. 研究計画	2
2.1 研究の内容	2
2.2 研究の体制と計画	2
3. 施工管理技術の現状と技術開発の動向	4
3.1 施工管理の合理化の背景	4
3.1.1 土木事業の現状及び将来動向から見た土木技術の高度化の方向	4
3.1.2 施工管理に関連する技術の動向	7
3.2 施工管理システムの開発状況	8
3.2.1 調査方法	9
3.2.2 調査項目	9
3.2.3 調査結果	9
3.3 研究対象工種	13
4. 施工管理の実態	15
4.1 土工における施工管理について	15
4.1.1 施工法の実態	15
4.1.2 施工管理の実態	20
4.1.3 現行の施工管理基準	24
4.1.4 現状の問題点	28
4.1.5 施工管理の合理化に向けて	29
4.2 コンクリート工における施工管理について	30
4.2.1 施工法の実態	31
4.2.2 施工管理の実態	35
4.2.3 現行の施工管理基準	38
4.2.4 現状の問題点	39
4.2.5 施工管理の合理化に向けて	41
4.3 舗装工における施工管理について	43
4.3.1 施工法の実態	43
4.3.2 施工管理の実態	46
4.3.3 現行の施工管理基準	49
4.3.4 現状の問題点	51
4.3.5 施工管理の合理化に向けて	53
4.4 軟弱地盤処理工における施工管理	56
4.4.1 施工法の実態	56

4.4.2	施工管理の実態	63
4.4.3	現行の施工管理基準	70
4.4.4	現状の問題点	72
4.4.5	施工管理の合理化に向けて	73
5.	土工における施工管理手法の研究	74
5.1	研究目的及び概要	74
5.2	研究内容	75
5.3	施工管理試験装置の概要	76
5.4	構内実験	79
5.4.1	施工管理試験装置の適用性実験	79
5.4.2	施工管理基準に関する品質管理実験	87
5.4.3	施工管理試験装置および施工管理基準に関する検討	91
5.5	施工現場における実験結果	97
5.5.1	近畿地建における実験結果	97
5.5.2	東北地建における実験結果	103

1. 研 究 の 目 的

建設工事の機械化は、戦後、建設機械・施工法の開発とともに急速に進み、現在では建設作業のほとんどが建設機械による施工となっている。また、建設機械自体についても、近年の大規模土木工事、都市土木工事の増加あるいは人件費・機械経費の節減等に対応していくため、大型機種あるいは小型機種の開発、汎用化、低公害化等が進められ、その性能も著しく向上し、公共事業においてもその円滑かつ効率的な実施に大きく寄与しているところである。一方、建設施工全体を見た場合には、機械化施工に付随する施工管理、すなわち工事中の出来形管理・品質管理等について、その検査・測定等に多くの時間と労力を要し、機械化施工を推進するうえでの障害となっている。また、品質管理は、建設機械の自動化、施工管理のシステム化を進めるうえでも重要な項目である。今後、工事施工の一層の効率化と品質の向上を推進するためには、建設機械の機械化・自動化を進めることに加えて、リアルタイムに品質管理を行える手法など機械化施工・情報化施工に適した合理的な品質管理手法・測定機器の開発・整備が必要である。

本研究はこのような背景のもと、工事施工の一層の効率化と土木構造物の品質の向上を図ることを目的として、土工・コンクリート工・舗装工・軟弱地盤処理工などの建設工事に共通的な工種における機械化施工・情報化施工に適合した品質管理・施工管理の手法および建設機械・測定機器の調査・研究・開発を行うとともに、それらに対応した施工管理基準・品質管理基準等の検討を行うことを目的としている。

2. 研 究 計 画

2.1 研究の内容

本研究は、各研究対象工種（土工、コンクリート工、舗装工、軟弱地盤処理工）に対して、次に示す内容について実施している。

- (1) 機械化施工における品質管理の現状分布と問題点の抽出
 - ① 建設機械の施工能力と施工法の実態
 - ② 品質管理方法・品質管理基準の実態
 - ③ 現状における問題点の抽出
- (2) 機械化施工に適した施工管理手法、施工機械、測定機器等の調査・研究
 - ① 建設機械、品質測定機器の開発動向調査
 - ② 建設機械と測定機器のシステム化の検討
 - ③ 施工管理システム要素技術の検討
- (3) 施工管理基準、品質管理基準（案）の検討

2.2 研究の体制と計画

本研究は、建設経済局建設機械課を主務として、土木研究所が中心となり、大臣官房技術調査室、河川局、道路局等の関係部局の意見を踏まえつつ、各地方建設局と共同して行ったものである。

研究方針の策定、調査項目の決定および総括取りまとめは土木研究所が行い、個別調査および事項別の取りまとめは各地方建設局が行っている。本研究の年次計画および担当は表－2.1、表－2.2に示す通りである。

表－2.1 本研究の年次計画

研 究 項 目	S62	S63	H1
(1) 機械化施工における品質管理の現状分析と問題点の抽出			
① 建設機械の施工能力と施工法の実態			
② 品質管理方法・品質管理基準の実態			
③ 現状における問題点の抽出			
(2) 機械化施工に適した施工管理手法、施工機械、測定機器の調査・研究			
① 建設機械、品質測定機器の開発動向調査			
② 建設機械と測定機器のシステム化の検討			
③ 施工管理システム要素技術の検討			
(3) 施工管理基準、品質管理基準（案）の検討			

表-2.2 個別テーマの担当

対 象 工 種	主 な 研 究 内 容	土木研究所 担当研究室	担当地建
1. 土 工	締固め作業の施工管理 (締固め度等)	施工研究室	東北地建 近畿地建 北海道開発局
2. コンクリート工	コンクリート打設時の施工管理 (締固め度、充填度等)	機械研究室	中部地建 中国地建
3. 舗 装 工	アスファルトコンクリート舗装の施工管理 (締固め度、アスファルト量、配合粒度等)	機械研究室	北陸地建 四国地建
4. 軟弱地盤処理工	混合処理工法における施工管理 (強度、混合度、出来形等)	施工研究室	関東地建 九州地建

3. 施工管理技術の現状と技術開発の動向

3.1 施工管理の合理化の背景

施工管理の合理化を目指す背景として、本筋では、土木事業の現状及び将来動向からみた土木技術の高度化の方向について述べ、土木技術全般の技術開発の方向性を示すことにする。次いで、施工管理に適用される可能性の高いいくつかの技術についてその動向を述べることにする。

3.1.1 土木事業の現状及び将来動向から見た土木技術の高度化の方向

(1) 土木事業の現状と将来動向

土木技術全般について将来の技術開発の方向を探るためには、i) 建設需要、ii) 労働力、iii) 生産性、iv) 作業環境、などの観点について現状と将来動向を十分に把握する必要がある。以下では、これらの点について簡単に述べることにする。

i) 建設需要の動向

国民の価値観・意識の変化、人工・世帯構成の変化、余暇の増大、モビリティの高まり、国際化の進展、資源エネルギーの制約、技術革新の進展、高度情報化などの社会的変化は建設需要に対して少なからぬ影響を与える。その際の建設需要の変化の基調は次の6点に集約される⁽¹⁾。

- ① 施設の多様化
- ② 施設の高度化
- ③ 高齢化社会への対応
- ④ 高度情報化社会への対応
- ⑤ 複合型・集積型施設の増加
- ⑥ リフォーム、リフレッシュ需要の増大

このうち⑥に関しては、社会資本ストックの増大に伴い、図-3.1.1に示すように維持修繕費や更新投資の飛躍的な増加が予想されている。このことから、施設の維持・管理に係る技術の効率化が強く望まれている。

ii) 労働力

建設業就業者数は建設投資額の順調な伸びとともに増加し、昭和55年度には548万人に達した。これは全産業就業者数の9.9%に相当し、建設業は我が国産業界の重要な位置を占めている。その後、就業者数は横ばいもしくは減少傾向をたどっており、昭和61年は538万人となっている。なお、経済企画庁総合計画局「長期多部門モデル」によれば、昭和75年における建設業就業者数は若干増加するものの、全産業就業者数に対する比率は9.3%に低下すると予想されている。

労働力に関しての大きな問題は、①技能労働者の不足、②労働者の高齢化と若年労働者の確保難である。

労働省の「技能労働者需給状況調査」によると、技能労働者の不足は慢性的なものになっており、不足率は常時ほぼ10%程度となっている。中でも、鉄筋工(12.2 %)、配管工(12.4 %)、型枠工(14.8 %)

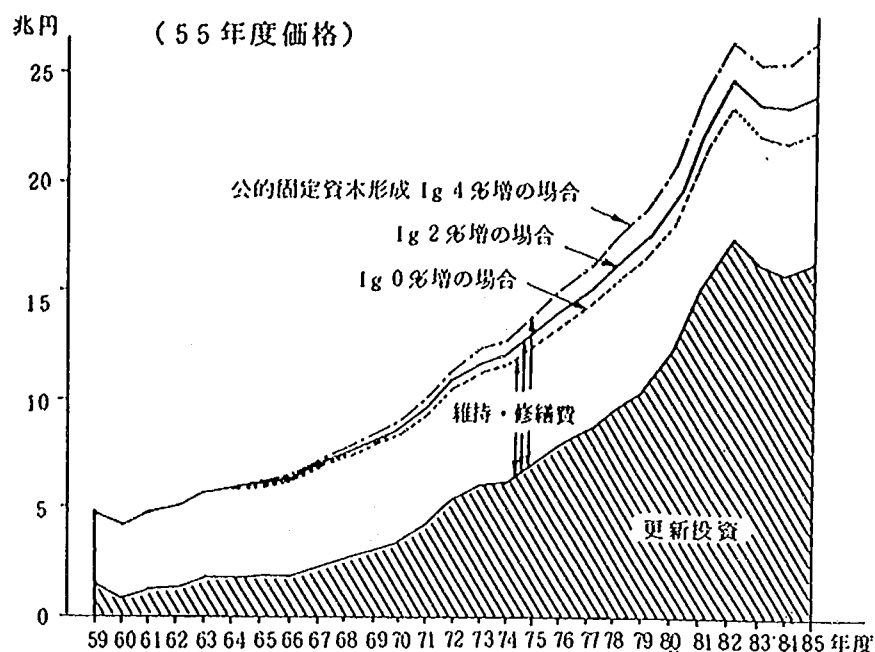


図-3.1.1 維持・修繕費、更新投資額の予測

などの職種で不足率が高くなっている。

さらに、技能労働者を中心として労働者の高齢化がすすむとともに、若年労働者の確保難が深刻化している。これらは、①労働生産性の低迷、②工事費の占める人件費の比率の上昇、などを招く一因となっている。

将来的にも技能労働者の不足および労働者の高齢化の問題は容易に解消されないと考えられることから、工事施工の機械化・自動化さらにはロボット化をいっそう推進する必要がある。

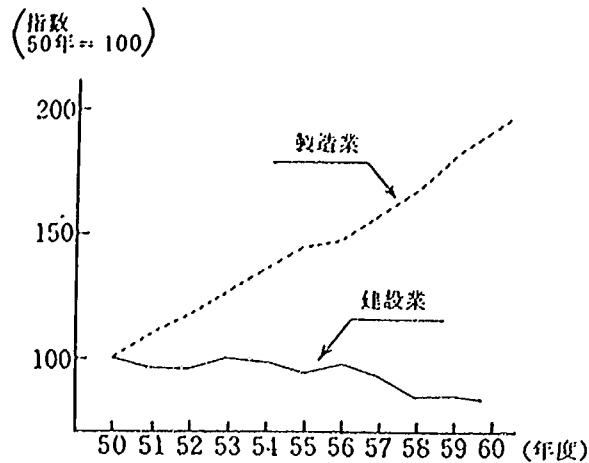
iii) 生産性

建設業の生産性は、戦後は全産業の平均にほぼ等しく推移してきたが、昭和45年以降は低下傾向にある。これを建設業就業者1人当たりの生産額（労働生産性）でみると、昭和48年以降は製造業の水準を下回りつづけており、昭和55年には製造業の54.8%となっている。また、昭和50年から60年までの10年間の生産性の伸びをみても、製造業は約2倍となっているのに対し、建設業は低下傾向にある（図-3.1.2 参照）。

このような建設業における生産性の伸び悩みの状況、および前述した技能労働者不足の問題を考え合わせると、建設事業の効率化、省力化による生産性の向上は従前にも増して強く望まれているといえよう。

iv) 作業環境

建設工事には、環境が劣悪だったり、危険な作業が少なからず存在する。例えば、高気圧、高温内作業（潜函、シールドなど）、粉じん発生（トンネル、ダム、地下工事、土工、舗装など）、酸欠や有毒・可燃性ガスの発生（トンネル、地下工事など）、強風下作業（ダム、臨海土木、超高層ビルなど）、水中作業、高所作業などを挙げることができる。また、労働災害の面からみると、建設業は他産業に比



- 注) 1. 「国民経済計算年報」(経済企画庁)、「労働力調査」(総務庁)より作成。
 2. 55年価格による実質値。
 3. 労働生産性は実質粗付加価値生産額/就業者数。
 4. 建設省「国土建設の現況」(昭和62年)より引用。

図-3.1.2 労働生産性の推移

べて災害発生率が高い。すなわち、建設業の全産業に対する死傷比率は3割強、死亡比率は4割強となっており、建設業就業者数の全産業に対する比率が1割弱であることを勘案すると、かなり高い比率といえる。

以上のことから、いっそうの技術革新によって労働者の苦渋作業からの開放が強く望まれている。

(2) 土木技術の高度化の方向

(1)に述べた事柄をもとに、土木技術全般の高度化の方向を探ると、以下に示すものが挙げられる。

i) 生産性の向上

土木事業は現地生産、一品生産などの特殊事情のために、他産業に比べて機械化、自動化、省力化を図ることが難しく、労働生産性は伸び悩みの状態にあるといえる。今後、施設の維持管理を中心に事業量が増加することや、良質な労働力の確保が困難になることが予想されるため、土木事業における機械化、自動化、省力化による生産性の向上については非常に高いニーズがある。

ii) 作業の安全化、快適化

従来から土木工事における死亡災害発生率は他産業に比べて高く、作業の安全化は常に望まれているところである。また、今後都市内土木のウェイトが高まるにつれて、大深度の地中工事、狭空間での作業、高気圧下での作業など環境が劣悪な作業が増大することが予想される。このような問題に対処するために、作業の安全化、快適化は土木技術の高度化に向けての重要な柱の一つである。

iii) 省技能工

土木工事では特殊技能をもつ労働力を多く必要とするが、近年は技能工の不足や高齢化が深刻な問題となりつつある。このような問題に対処するために、また、上述した作業の安全化の面からも、機械操作の容易化、単純化をいっそう進め、特殊技能を要する作業を少なくする努力が必要である。

iv) 品質・精度の向上

土木構造物は公共性が高いため、構造物として高い信頼性を持つことが重要である。しかしながら、土木工事には種々の特殊性があるために高度な施工管理を行うには不十分な点が多々残されている。今後は、エレクトロニクス技術を積極的に導入するなどしてより高い品質を安定的に得られるよう施工管理技術の向上に努める必要がある。

v) 維持管理技術の向上

今後、社会資本の維持管理に対する国民の要求水準がますます高まることが予想されることから、耐久性の高い構造物の施工技術、および維持管理技術の向上が必要とされる。

3.1.2 施工管理に関連する技術の動向

本項では、施工管理の合理化に寄与すると思われるコンピュータ技術とセンサー技術について、現状と動向を略述することにする。

(1) コンピュータ技術

コンピュータの小型化、低廉化が急速に進み、多くの建設工事現場に小型コンピュータが導入されるようになった。小型コンピュータは現場での原価管理、工程管理、労務管理などに利用されることが多いが、施工管理の分野では現場計測機器のコントロールおよび各種データ処理に用いられる。小型コンピュータがもつ手軽さ、機動性といった特長を活用することによって現場計測の効率化、省力化を図ることができることから、施工管理の合理化に向けての主要な道具となりうる。今後はさらに周辺機器の発達、ソフトウェアの整備が進むものと予想され、小型コンピュータが施工管理の合理化に寄与する役割はきわめて大きいといえる。

(2) センサー技術

i) 電磁波センサー

電磁波センサーの種類は非常に多く、建設分野では電波レベル（距離）計、河川流速計、リモートコントロール装置、水分センサーなどとして利用されている。今後、建設分野での応用範囲はさらに広がると思われるが、特に建設機械の自動化・ロボット化のためのリモートコントロール装置として利用が増えると予想される。

ii) 赤外線センサー

赤外線センサーは、物体から放射される赤外線強度を測定することによって物体の表面温度パターンを知ることができる性質を利用したもので、近年ますます応用分野を広げている。建設分野では、対象物の探知、検査、保守といった分野で今後の利用が予想される。

iii) レーザーセンサー

レーザーには、①最も一般的な気体レーザー、②瞬間的な発振で高出力の固体レーザー、③波長が可変の液体レーザー、④小型・軽量・長寿命で低価格が期待できる半導体レーザーがある。建設分野では距離と方位の計測機器として利用されており、トンネル内でのシールドマシンや海洋工事における作業船の位置決めなどに用いられている。今後は、施工管理の多様化によってレーザーの新しい利用分野が開けていくものと思われる。

iv) 超音波センサー

超音波は、①距離や速度が非接触で検出できる、②指向性に優れているために目標物への照射確率が高い、といった特徴があり、施工管理ための計測用センサーあるいは建設ロボット用センサーとしてきわめて有望である。利用分野としては、距離や方向の測定、対象物の形状の把握、対象物の内部傷の検出等の品質管理、などが考えられている。

v) 視覚センサー

視覚センサーの究極は人間の目であるが、人間の目のような視覚認識機能をもったセンサーは現在のところ存在しない。高度な機能をもつ視覚センサーは、画像処理システム、パターン認識技術、人工知能などと有機的に結合される必要があり、今後最も発展が期待される分野の一つである。建設分野では、対象物の表面性状の管理・検査、幅・高さ・面積といった出来形の管理・検査、数字や目盛の自動読取り、などの分野で利用が期待されている。

vi) 放射線センサー

医療や機械工業、電子工業の分野では非破壊検査技術の一つとしてかなり利用されており、建設分野での応用も既に行われている。具体的な利用方法としては、水分計、密度計、厚み計などがある。今後さらに利用分野の拡大が期待されている。

3.2 施工管理システムの開発状況

土木工事において「施工管理」といえば、「工事を無駄なく、無理せずに進めるために、計画を立て、その計画に基づいて施工し、その結果が計画と開差があれば、その原因を追求し、それを改善するとともに、工事途中における条件の変化に適時適切に対応する統制の機能」（土木施工管理、稲見俊明他、山海堂）と解釈されている。そして、工期、品質、価格等といった重要項目について十分な管理がなされなければならないことは言うまでもない。しかし、土木においては施工計画、工程管理、原価管理、安全管理などの重要性が大きいので、品質管理の占める割合があまり小さくなく、工事検査の方に重点が置かれていることが多い。これは、「管理」に置けるフィードバックがどの時点でなされるのかという点にかかっている。すなわち、1工事を一つの製品製造と考えれば、工事終了時に工事検査を行ないその結果を積み上げて設計や計画、施工方法に反映することによって、「計画と開差があれば、その原因を追求し、それを改善する」ことができるわけである。しかし、土木工事そのものの大きさや、工期、重要性を考慮すると、「工事途中における条件の変化に適時適切に対応する」だけでなく、日々の作業や工程の随所において施工結果を確認して次の作業や工程に移ることが重要になってきている。

このような中で、NATMに代表される「計測に基づいた施工」が行なわれるようになり、施工結果のデータベース化や精度向上を目的として、現場計測を行い、その結果を用いて当初の設計や施工計画を検討しながら次の工程に反映させて合理的に施工を進める「計画施工」あるいは「情報化施工」と呼ばれる施工管理システム技術の開発が行われてきている。そこで、その実状を把握し、今後の研究開発の方向を探るために実態調査をおこなった。

3.2.1 調査方法

調査は、建設工事に関して、安全管理、環境管理、施工の合理化、省力化、品質管理、出来高管理等を目的として開発された現場計測による施工管理システム（工法、計測装置、建設機械の組合せ及びソフトウェア）を調査対象として、建設大手5社に対してアンケート方式によって実施した。

3.2.2 調査項目

主な調査項目は、開発システム名、工種区分、対象工種、工業所有権、開発期間、開発費用、施工管理区分、開発目的、開発システムの概要（特徴、効果等）、開発システム概念図、システム化レベル、施工管理内容、データ解析及び評価手法、データ処理・解析・評価装置名、適用条件、施工実績等である。

3.2.3 調査結果

総数54件の回答があり、土留工、シールド工、土工、トンネル工等の件数が多かった。これらは、

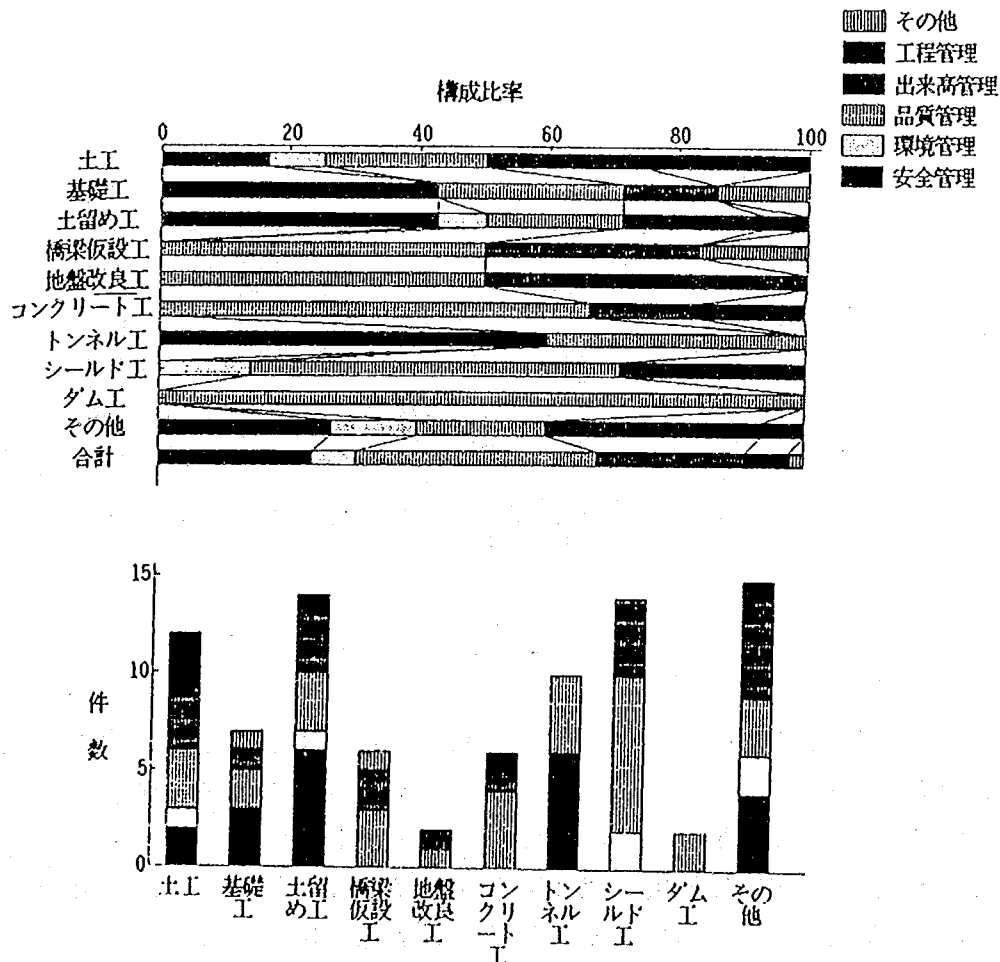


図-3.2.1 施工管理区分別

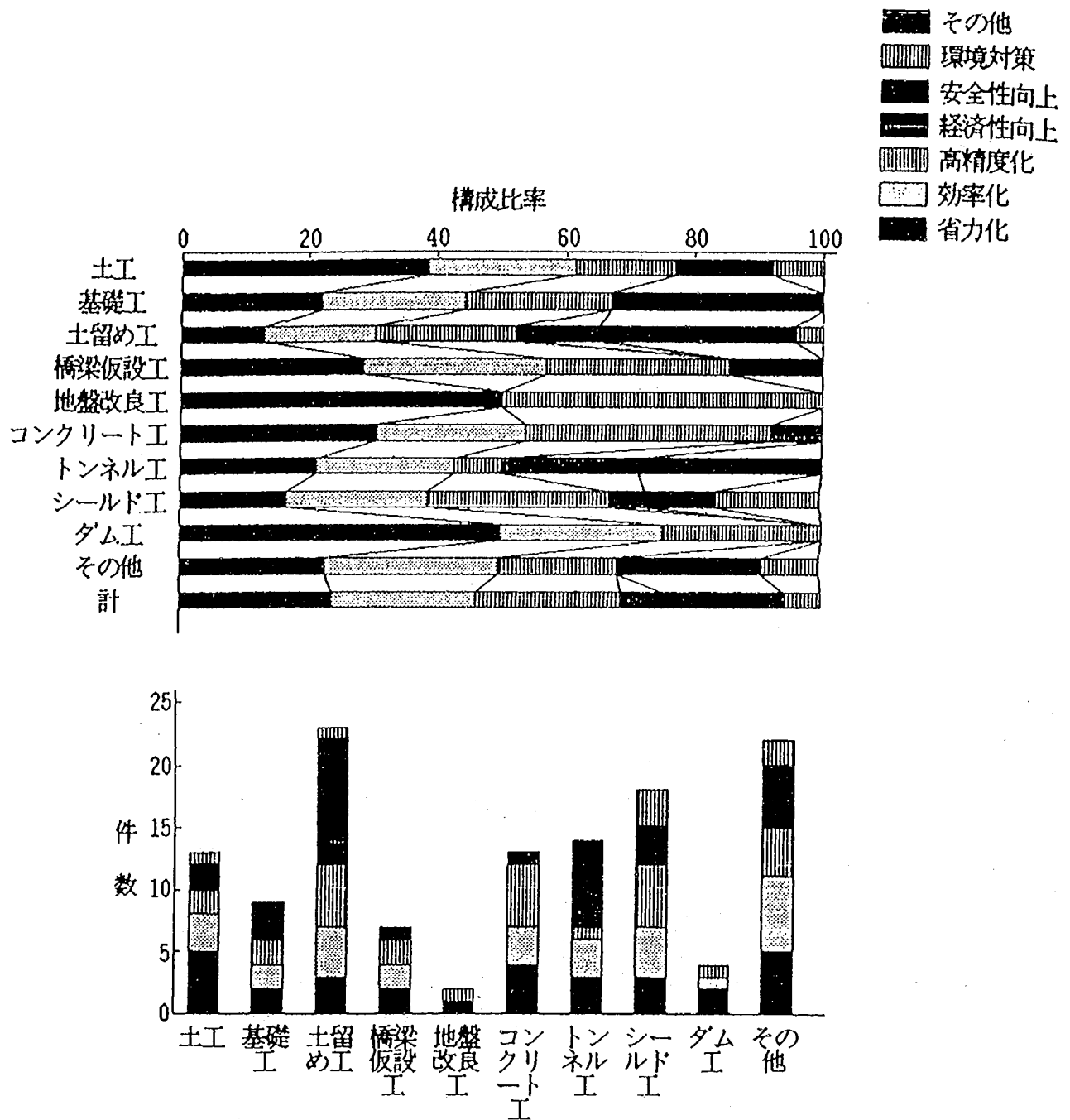


図-3.2.2 開発目的別

いずれも施工の進展にともなって常時変化している土などを対象としている工種であるため、過去の施工経験よりも現在の施工の影響を常に把握することが、施工の合理化のみでなく、安全性の確保や施工精度の向上など多くの効果が期待できるものである。また、土留工では地中連続壁掘削精度管理システムのように、経験に頼っていたものに計測施工のシステムを導入したことによって、より高精度の施工が可能になったばかりでなく、工法適用範囲が広がったものもいくつか見られる。

開発の対象となる施工管理区分は、品質管理が最も多く、ついで安全管理、出来高管理となっている。工種別では、施工管理が十分でない、大きな事故につながることの多いトンネル工、土留工、基礎工

では安全管理を目的としたものが多く、その他の工種では品質管理が中心となっている。土工においては、大土工での工程管理が施工効率に大きく影響することから工程管理を目的にしたものも含まれている。

開発の目的としては、省力化が1/4をしめ、これに次いで効率化、高精度化、安全性向上がほぼ同率で続いており、これらで80%以上になっている。開発目的については、工種によって大きな差は認められない。

システム化のレベルとしては、計測・解析・評価をコンピュータを用いて行い、施工に反映しているものが最も多く、施工機械の自動制御までを含めた自動化を行っている例もいくつか見られる。土留工、コンクリート工などではシステム化のレベルが比較的高く、基礎工、地盤改良工などでは計測のみのものが多く施工管理システムの導入初期にあると思われる。

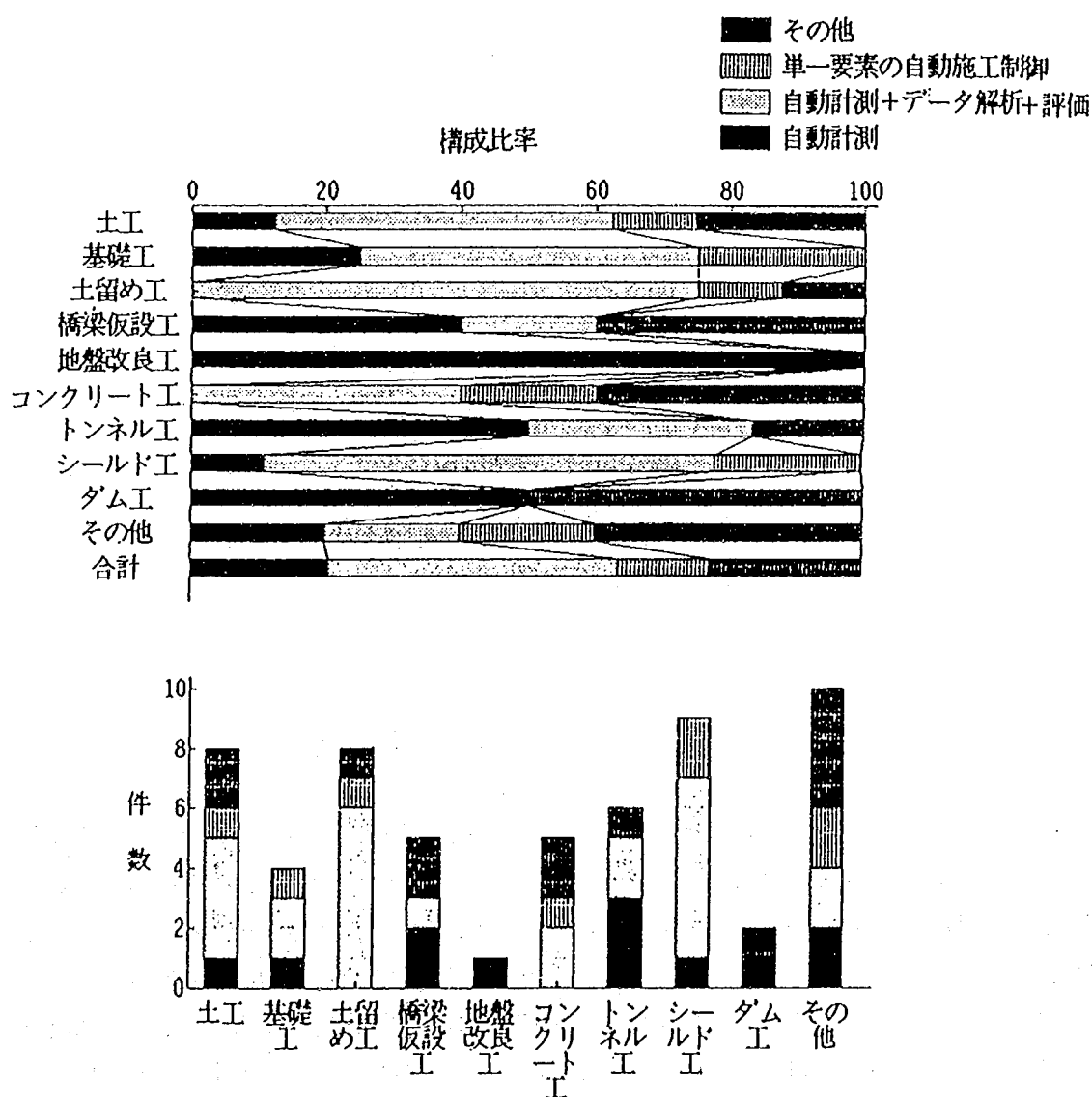


図-3.2.3 システム化のレベル

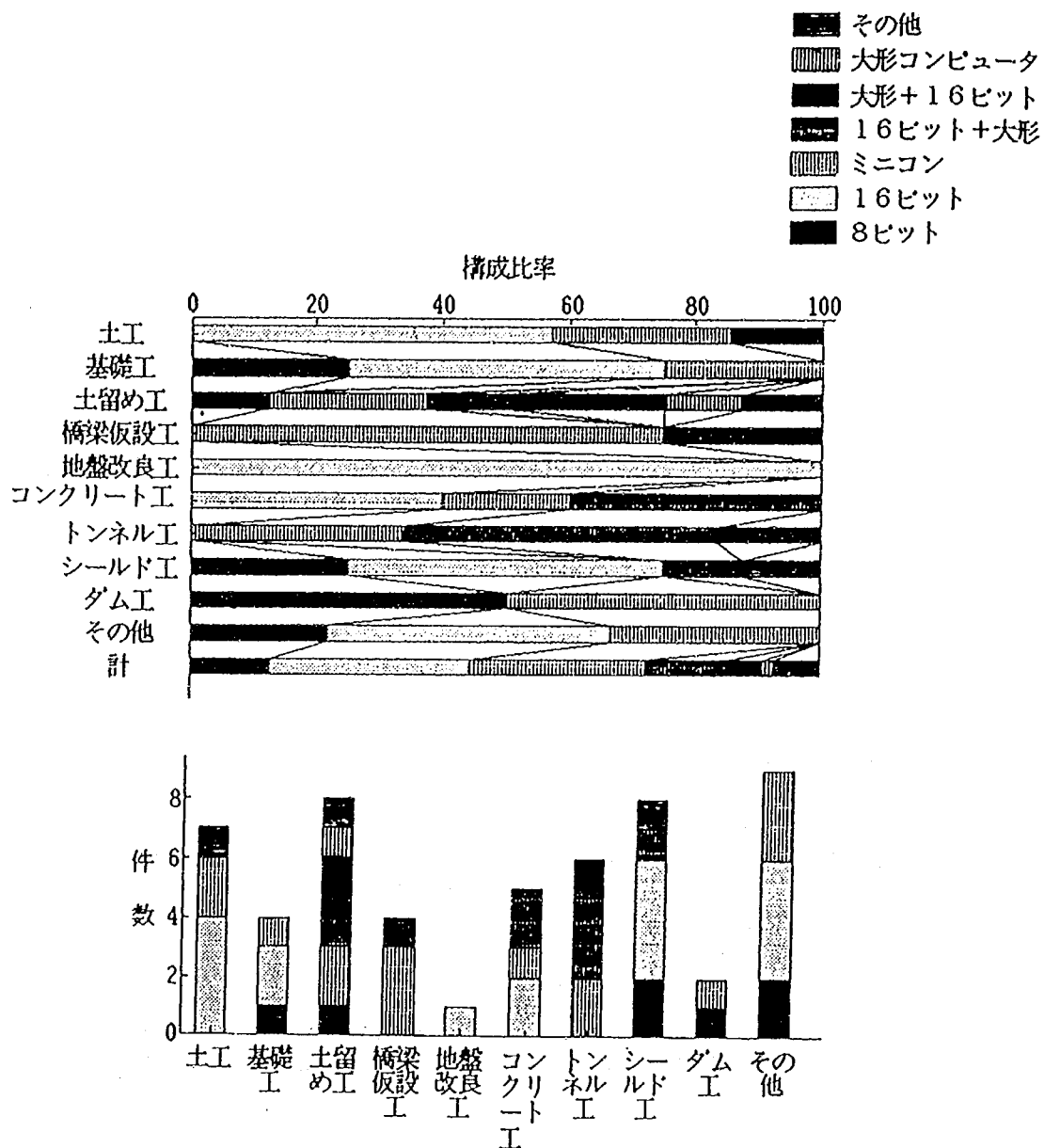


図-3.2.4 使用コンピュータ

システムの中核となるコンピュータについては、16ビットのマイコンを利用している場合がほとんどであるが、計測室のようなところに設置するのではなく、工事現場の中に直接持ち込んで利用する場合も見受けられ、劣悪な環境での使用に耐えるものの開発の必要性がうかがえる。また、本社の大型コンピュータをホストにして、必要なデータ解析の内、FEMのようなものについてホストコンピュータを利用したり、現場データをホストコンピュータで蓄積し、次回以降の工事での推定、判定の材料にするようなデータベース化をはかっている例も見受けられた。今後は、現場とホストコンピュータをオンラインで接続し、高度な計算や将来のためのデータベースの蓄積などをホストコンピュータに任せ、現場での常時監視や制御データ、施工管理データの出力など現場での作業に直接必要なものを現場マイコン

に行わせるなどといった分業化、オンライン化が進んでくるものと思われる。

3.3 研究対象工種

土木は「経験工学」であると言われるが、数学のように論理的に整理されないまでも、「工学」である以上は、その技術や知見が容易に伝承される形で整理されていなければならない。経験することのみに近いものは、人間国宝的な工芸などの範疇になる。しかし、工事中のミクロなフィードバック（例えばバイブレータでのコンクリート締め固めで、締め固めを終了して良いのかの判断等）については、経験にたよるところが大きく、「工学」の形には整理されていなかったため、材料の質のチェック、定められた手順による施工及び施工結果の確認である検査に重点が置かれてきた。

実際、表-3.3.1に示すとおり、建設省土木工事標準仕様書で定めのある品質管理のための試験の半分は生コンを含めた材料のチェックであり、残りの半分は施工完了時点での検査に近いものになっている。土木関係のJISにおいても、試験に関わる規格のうち6割が材料に関するもの、2割が建設機械

表-3.3.1 建設省土木工事標準仕様書における施工時の試験項目（例）

工種	試験項目	試験方法	工種	試験項目	試験方法
道路 土工	現場密度の測定または飽和度の測定（粘性土） ブルーフローリング	JISA1214	セメント・コンクリート	スランプ試験	JISA1101
				空気量測定	JISA1116 1118 1128
	現場CBR試験 平板載荷試験 土の含水量試験 コーン指数の測定	JISA1211		圧縮強度試験 曲げ強度試験	JISA1108
		JISA1215			JISA1106
		JISA1203		細骨材の表面水率試験 コアーによる強度試験 コンクリートの洗い分析試験	JISA1111
		JISA1203			JISA1107 JISA1112
河川 土工	現場密度の測定または飽和度の測定（粘性土） ブルーフローリング	JISA1214	舗装	温度測定（敷均し時） 密度測定	アスファルト舗装要綱
	土の含水量試験 コーン指数の測定	JISA1203 JISA1203		スランプ試験 空気量測定	JISA1101 JISA1116 1118 1128
セメント 安定 処理 路盤	混合物の粒度試験	JISA1102			
	締め固め密度の測定	JISA1214			
	含水量試験 セメント量試験	JISA1203 コンクリート舗装要綱		すべり抵抗試験	

の性能に関するもの、2割が製品の品質に関するものとなっており、作業の中で直接的に施工にフィードバックするように活用できるものは僅かである。

「機械化施工における施工管理手法の合理化に関する研究」においては、近年の施工管理システムの開発の動向をふまえ、

- ① 土木工事の中で中心となる工種
- ② 機械化施工が中心となっており、施工管理の施工へのフィードバックが可能な工種
- ③ 材料の品質とともに、施工過程が製品の品質を大きく左右する工種
- ④ 合理的な施工によって、材料、労力などの節約が期待できる工種
- ⑤ 検査方法の迅速化、合理化によって、施工の合理化が期待できる工種
- ⑥ 検査方法の迅速化、合理化によって、均質化、高品質化が期待できる工種

等を調査対象とする考え方から、次のような工種についての基本的な問題意識の下に、研究を進めることとした。

表-3.3.2 代表的な機械化施工工種における施工管理の問題点

	施工機械	品質管理の現状	品質管理の問題点	改善例
土工 (締固め)	ブルドーザ タイヤローラ 振動ローラ	密度管理方式:JISに 規定する砂置換法、 炉乾燥法等によって 現場密度、含水比を 測定	測定に時間がかかる 密度:20分/1ヶ所 含水量:1昼夜 測定に労力を要する 点測定で面管理不可能	RI計による管理JIS低 減、管理密度の向上 締固め機械に測定計器 を登録して同時計測
コンクリート工 (締固め)	棒形内部振動 機	材料試験:JISに規定 するスラック・空気量・ テスト・スの測定 完成検査:JF抜取り	試験に熟練を要し個人 差がある 打設・締固め・実構造 物の管理・測定不十分	スラック測定の自動化 締固め時の充填状況 締固め度の計測 強度の非破壊検査
舗装工 (締固め) (舗装厚)	アスファルト タイヤローラ 振動ローラ	アスファルト温度管理 JF抜取り・リソックによる密 度・舗装厚等の測定	事後検査が主体で施工 に反映できない JF抜取り部の品質 点測定で面管理不可能	RI計による管理JIS低 減、管理密度の向上 締固め機械に測定計器 を登録して同時計測
軟弱地盤 処理工	表層:油圧ショ ック・スプレッド 装置:DJM 専用機	改良剤の投入量 投入量等の自記記録 JFによる圧縮強度	事後検査が主体で施工 に反映できない 試験費用がかさむ 過品質の可能性	簡易強度測定法の開発

4. 施 工 管 理 の 実 態

4.1 土工における施工管理について

土構造物を構築する土工においても、工事規模の大小を問わず積極的な建設機械の開発導入によって、機械化施工による施工の合理化・省力化、均一化が進められている。これに対し施工者および監督者が、その目的とする構造物の良好な品質と出来形の確保のためには、各種の試験・実験に裏打ちされ、かつ施工の実態をも加味した合理的な施工管理基準をつくり、施工管理を行わねばならない。

そのためには、発達を続ける機械化施工の流れに対応した、新しい施工管理手法を開発したり、施工管理基準の見直し等を積極的に行う必要がある。本節では土工を対象に施工管理の実態と合理化に向けての動向について述べる。

4.1.1 施工法の実態

(1) 中小規模工事における施工の実態

イ. 調査対象工事

本研究においては、施工管理の実態を把握するため、東北および近畿地建管内において、昭和59年度から61年度に施工された土工のうち、土工量が100,000m³以下の中小規模の工事を対象とした無作為抽出のアンケート調査を実施した。4.1表にアンケート調査対象工事別一覧表を示す。

表4.1 調査対象工事別一覧表（構成比：％）

種 別	築 堤	道 路 改 築	交 安 対 策	ダ ム	そ の 他	件 数
東 北	30.4	35.3	28.4	2.0	3.9	102
近 畿	51.0	29.0	4.0	—	16.0	87

ロ. 盛 土 量

1工事当りの土工（盛土）量は表－4.2の通りであり、工事規模の小さいものが多い。

表－4.2 1工事当り盛土量（単位：1,000m³）（構成比：％）

区 分	盛土量	-0.5	-1.0	-5.0	-10.0	-15.0	-20.0	-25.0	25.0-	摘 要
河 川	東 北			12.5	28.1	21.9		15.6	21.9	
	近 畿	2.3		37.2	23.3	4.6	9.4	4.0	7.0	不明 11.6
道 路	東 北		8.9	48.8	18.9	5.6	5.6	3.3	8.9	
	近 畿	4.5	4.5	43.3	11.4	11.4		4.5	13.6	不明 6.8

ハ. 工 期

1工事当りの工期は表－4.3の通りである。東北地建に短い工期が多いのは、工事規模の小さい交通安全対策工事が多いためである。

表-4.3 1工事当り工期(月数)(構成比:%)

工 期	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0	8.0-
東 北	49.0	30.4	11.8	6.9	1.9
近 畿	5.0	22.0	38.0	18.0	17.0

二. 施工条件

施工延長および施工幅員を表-4.4, 表-4.5に示す。

表-4.4 1工事当り施工延長(構成比:%)

延 長	-200m	-400m	-600m	-800m	-1000m	1000m-
東 北	29.4	36.3	16.7	8.8	6.9	1.9
近 畿	39.0	26.0	18.0	4.0	6.0	7.0

表-4.5 1工事当り平均施工幅(構成比:%)

施 工 幅	-10m	-20m	-30m	-40m	40m-
東 北	49.0	26.5	15.7	1.0	7.8
近 畿	27.0	28.0	17.0	9.0	19.0

ホ. 基礎地盤

基礎地盤の土質分類は、河川ではほとんどが砂質土(78%)であるが道路ではレキ質土(36%), 砂質土(28%), 細粒土(36%)に分かれる。

ヘ. 盛土材料の性状

盛土材料の使用区分は表-4.6の通りであり、盛土材料の最大粒径を表-4.7に、50%粒径を表-4.8に示す。

又、液性限界を表-4.9に、塑性限界を表-4.10に、自然含水比を表-4.11に示す。

さらに、盛土材料の特性として最大乾燥密度を表-4.12に、最適含水比を表-4.13に、CBR値を表-4.14に示す。

このデータをみると、盛土材料は広範囲の種類にわたっていることがわかる。したがって、土工における施工管理の合理化を考えるにあたっては、広範囲の土質への適用を念頭に置いておかなければならない。

表-4.6 盛土材料の種類(構成比:%)

種 類	レ キ	レキ質土	砂	砂質土	シルト	粘性土	その他
東 北	4.1	23.6	13.0	39.8	11.4	6.5	1.6
	27.7		52.8		17.9		1.6
近 畿	9.0	32.0	5.0	42.0	4.0	7.0	1.0
	41.0		46.0		12.0		1.0

表-4.7 盛土材料の最大粒径(mm)(構成比:%)

最大粒径	-2.0	-5.0	-20.0	-50.0	-100.0	100.0-
東 北	2.3	13.6	30.7	30.7	17.0	5.7
近 畿	-40.0mm		77.0	40.0mm		23.0

表-4.8 盛土材料の50%粒径 (mm) (構成比: %)

50% 粒径	-0.074	-0.42	-2.0	-4.76	-50.8	50.8-
東 北	6.0	38.6	18.1	15.7	20.5	1.1
近 畿	50.0			50.0		

表-4.9 盛土材料の液性限界 (構成比: %)

液性限界	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70%-
東 北	25.9	19.0	24.1	12.1	8.6	10.3
近 畿	25-50%	64.0		50.0%-13.0 NP	13.0	

表-4.10 盛土材料の塑性限界 (構成比: %)

塑性限界	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	
東 北	22.6	39.6	24.5	9.5	3.8	
近 畿	-25%	52.0	25-50%	32.0	NP	16.0

表-4.11 盛土材料の自然含水比 (構成比: %)

自然含水比	-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50%-
東 北	21.1	30.5	22.1	13.7	10.5	2.1
近 畿	88.0		10.0		2.0	

表-4.12 盛土材料の最大乾燥密度 (t/m³) (構成比: %)

最大乾燥密度	-1.4	-1.6	-1.8	-2.0	2.0-
東 北	10.8	22.5	31.4	21.6	13.7
近 畿	4.0	5.0	17.0	47.0	27.0

表-4.13 最適含水比 (構成比: %)

最適含水比	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	50%-
東 北	14.0	58.0	20.0	3.0	4.0	1.0
近 畿	36.0	57.0	3.0	4.0		

表-4.14 C B R 値 (構成比: %)

C B R	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	-100%	100%-
東 北	30.9	29.1	-25%10.9	25%-29.1			
近 畿	15.0	3.0	29.0	22.0	13.0	15.0	3.0

ト. 現場施工

① まき出し厚と仕上げ厚

まき出し厚および仕上げ厚の実態を表-4.15, 表-4.16に示す。

表-4.15 まき出し厚 (構成比: %)

区分	厚さ	-20cm	-30cm	-40cm	40cm-	不明
河 川	東 北	63.0		33.3	3.7	
	近 畿	65.1			14.0	20.9
道 路	東 北	22.7	50.7	21.3	5.3	
	近 畿	20.1		36.4	18.2	25.0

表-4.16 仕 上 げ 厚 (構成比: %)

区 分	厚 さ	-20cm	-25cm	-30cm	-40cm	40cm-
河 川	東 北	14.8	11.1	74.1		
	近 畿	4.7	14.0		46.4	34.9
道 路	東 北	44.3	5.7	47.1	2.9	
	近 畿	9.1	22.7		50.0	18.2

② 敷均し機械

敷均し機械の使用状況を表-4.17に示す。多くの場合、敷均し機械にはブルドーザが用いられていることがわかる。

なお、ブルドーザは盛土材料の土質の含水比によって、普通・湿地の使い分けがあると考えられるが、普通型ブルドーザが東北で64%、近畿で92%使用されている。

表-4.17 敷 均 し 機 械 (構成比: %)

規 格	-10tBD	-20tBD	20t-BD	*不明	-10tBL	-20tBL	20t-BL	*不明	MG	BH	不明
東 北	4.8	39.0	7.6	13.3	1.9	12.4		1.9	1.0	2.9	12.3
近 畿	5.0	61.0	11.0	1.0	4.0	7.0	4.0		6.0	1.0	

凡例: BD:普通ブル BL:湿地ブル MG:グレーダ BH:バックホウ *不明: t数不明

③ 締固め機械と転圧回数

締固め機械は、両地建ともブルドーザ及びタイヤローラが多いが、振動ローラの使用については差が見られる。

表-4.18に締固め機械の使用状況を、表-4.19に転圧回数を示す。

東北は路体・路床の転圧回数が4～7回、築堤では4～5回が多い。

表-4.18 締 固 め 機 械 (構成比: %)

規 格	-10tBD	-20tBD	20t-BD	*不明	-20tBL	20t-BL	*不明	TR	VR	その他
東 北	1.6	22.8	3.1	5.1	1.6	0	0.5	14.5	24.4	25.0
近 畿	4.0	46.0	4.0		5.0	2.0		19.0	2.0	18.0

表-4.19 転 圧 回 数 (構成比: %)

回 数	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11
東 北	14.0	51.0	27.0	4.0	4.0
近 畿	18.0	70.0	4.0	4.0	4.0

(2) 大規模工事における施工の実態

イ. 調査対象工事

調査は、東北地方で施工中の大規模工事の中から、ダム(東北地建)、都市開発(地域整備振興公団)、および道路(日本道路公団)について調査を実施した。(東北地建担当)

ロ. ダム工事

2つのダム工事現場における施工状況を表-4.20に示す。

表-4.20 ダム工事の施工状況 (盛土量: 1,000m³)

ゾーン 区分	全盛土量	年盛土量	1日盛土量	土質及び 粒径	敷均し 機	締固め 機	厚さ (cm)	転圧 回数	管理基準
(Aダム)									
# : まき出し厚 * : 仕上げ厚									
コアー	610	210	2.0	粘性土 -150mm	21tBD-1 30tBD-1	30tTR-1	#25 *20	8	4ヶ所/1116砂置換 95% : rd : 1.97t/m³
7(A)-相	690	270	2.3	河川砂利 -200mm	21tBD-1 30tBD-1	11tVR-1	#45 *40	2	1回/10,000m³ rd : 2.20t/m³ 水置換
ロック	3,120	1,480	7.9	破砕岩 -1000mm	30tBD-1 45tBD-1	18tVR-1	#110 *100	4	1回/50,000m³ rd : 1.96t/m³ 水置換
保護層	70	30	0.6	破砕岩 -1000mm	30tBD-1	18tVR-1	#55 *50	4	1回/10,000m³ rd : 2.01t/m³ 水置換
合 計	4,490	2,020							
(Bダム)									
コアー	960	310	2.8	粘性土 -150mm	21tBD-1 32tBD-1	30tTR-1	#25 *20	12	4ヶ所/1116砂置換 95% : rd : 1.97t/m³
7(A)-相	390	120	1.5	河川砂利 -200mm	21tBD-1	8tVR-1	#45 *40	4	1回/10,000m³ rd : 2.05t/m³ 水置換
7(A)-相	710	290	1.8	河川砂利 -300mm	破砕岩 32tBD-1	18tVR-1	#90 *80	4	1回/10,000m³ rd : 2.05t/m³ 水置換
ロック	8,290	2,130	11.7	破砕岩 -1500mm	32tBD-2 45tBD-1	18tVR-2	#170 *150	4	1回/50,000m³ rd : 1.96t/m³ 水置換
合 計	10,350	2,850							

凡例: BD : 普通ブル TR : タンピングローラ VR : 振動ローラ

ハ. 都市開発

地域整備振興公団施行の都市開発事業の施工状況を表-4.21に示す。

表-4.21 都市開発事業の施工状況 (盛土量: 1,000m³)

事業所名	全盛土量	62年度盛土量	1日盛土量	敷均し 機	締固め 機	厚さ (cm)	施工管理
A 都市開発	2,000	200	3.0	16tBL	16tBL 2往復	#30 ①	85-98% air-10%砂置換 1回/6000m³
B 都市開発	5,000	980	2.2	21tBD 3往復	21tBD 2往復	#30	②
C 都市開発	24,000	3,600	2.2	21tBD 3往復	21tBD 2往復	*30	②
D 都市開発	10,000	653	10.0	21tBD 3往復	21tBD 2往復	*30	②
E 都市開発		62		21tBD 3往復	21tBD 2往復	#30	②
F 都市開発		568.4		21tBD 3往復	21tBD 2往復	#30	

①: Wn85-150% 8日間晒気後使用 ②: 85%砂置換 土量20%まで1回/10000m³, その後1回/20000m³
凡例: BD : 普通ブル BL : 湿地ブル # : まき出し厚 * : 仕上げ厚

ニ. 大規模道路工事

日本道路公団施行の高速道路工事の施工状況を表-4.22に示す。

表-4.22 高速道路工事の施工状況 (盛土量: 1,000m³)

事業所名	全盛土量	62年度盛土量	1日盛土量	敷均し機	締固め機	厚さ (cm)	施工管理
A工事事務所	11,000	200	5.0	16tBD	(20t)VR 4往復	#30 *30	空気間隙率 RI法 1層, 1日, 15点 (15点の平均)
B工事事務所	320	220	5.0	17tBL	20tTR 4往復	30 路体 #30 路床 #20	85%砂置換, 土量-20% 1/10000m³ 20%- 1/20000m³
C工事事務所	450	200	2.0	21tBD	20tTR 4往復 (20t)VR 3往復	路体 #30 路床 #20	空気間隙率 RI法

凡例:BD : 普通ブル BL: 湿地ブル TR: タイヤローラ VR: 振動ローラ #: まき出し厚 *: 仕上げ厚
(20t): 起振力20t級

ホ. 施工の特色

① ダム (フィルダム盛土: 建設省)

ダムの場合は、圧密沈下の他に遮水機能を有するため、盛土材料毎に使用材料がそれぞれ異なる。特にダムでは施工にも過去の実績と経験が重視され、コア材ではタンピングローラ、ロック材およびフィルター材では振動ローラが、一般的な機種として定着されている。

又、フィルダムの盛土については、予め試験施工を行い材料の選定、管理基準、経済性等をも含めた検証を行っている。

コア部の締固めは、高い接地圧力と材料の混合が期待出来る30t級タンピングローラであり、フィルター材及びロック材の締固めは、深さ方向への締固め効果が期待出来る8~18t級振動ローラ (コンバインド型) である。

② 都市開発 (地域整備振興公団)

宅地造成工事では、敷均し及び締固めとも16~21t級ブルドーザ (接地圧力 0.3~0.7kg/cm²) が使用されているが、締固め度を85%程度で管理する盛土の場合は、敷均しと締固めを同一の機械で行うこともある。

③ 道路 (日本道路公団)

道路盛土の場合の締固め度は92~97%であり、敷均しは16t級ブルドーザ、締固めは、20t級程度の振動ローラを用いることが多いようである。

4.1.2 施工管理の実態

(1) 締固め管理の方式

土をよく締固めれば、出来あがった盛土は沈下も少なく、支持力もある安定したものになることは経験的によく知られている。したがって、品質の優れた均一な土構造物を築造しようとする場合には、その締固め管理はきわめて重要な意味をもつ。

土の締固めの管理規定には、品質すなわち締固め後の密度等によって管理しようとする「品質規定方式 (最終成果仕様・パフォーマンス仕様などとも言われている)」、施工方法を規定する「工法規定方式」、及び、これらの「折衷方式」の3種があり、Reichert, Jの資料 (1981) によれば、32ヶ国47機関におけるこれらの方式の選択は「品質管理方式」がドイツ・ベルギー・イタリア・スイス・カナダ

・ブラジル等の15ヶ国、「工法規定方式」はイギリス・アイルランド・スウェーデンの3ヶ国であり、「折衷方式」はフランス・オランダ・ソ連・日本等の9ヶ国で採用されており、アメリカは3種とも、ニュージーランドは「品質管理方式」と「工法規定方式」の両方を採用している。

「品質管理方式」は、締固め後の品質によってのみ施工を管理しようとするものであり、施工者は独自の方法での施工が可能であり、発注者から示された指標の基準値を満足していれば、どのような工法・機種であっても良い。

「工法規定方式」は、施工者にとっては最も容易な方法であるとされており、施工者は規定された項目を遵守しさえすれば品質管理について責任を持つ必要はない。なお、これらの項目としては使用機種・最少転圧回数・最大許容層厚（まき出し厚）、締固め中の含水比、タイヤ圧、振動数等があり、発注者はこれらに適合しているかどうかの管理を行うが、その結果の良否に拘らず発注者側の責任となる。このため、発注者は多くの費用をかけて盛土試験を行い、最も適当な工法を規定しなければならない。

この方式の利点は、施工管理がスムーズに連続的に出来ることであるが、これには発注者と施工者の間の完全な協力関係と信頼関係を必要としている。材料の性質が良く分かっているとき、同一種類の土が多いとき、比較的単純な土工のときに「工法規定方式」をとる場合がある。

「折衷方式」は、工法と品質を規定するもの（工法品質管理方式）と、一応、工法を提示し、結果が良ければ品質規定方式に移行し、悪ければよりよい工法を選ぶ方式（提示工法・品質規定方式）がある。フランスでとられている「折衷方式」は、機種並びに作業要因の選定、これらの要因の管理、及び完成品の管理からなる。

我が国では一般に、機種・まき出し厚・転圧回数等を事前に決定し、かつ品質を管理する方式をとっており、典型的な「折衷方式」といえよう。

(2) 品質管理の方法

品質管理方式の指標としてはProctor密度、いわゆる標準的な最大乾燥密度が最も広く使用されており、そのほか空気間隙率、CBR値、平板載荷試験等がある。

① 現場密度試験

現場密度試験には試料採取法、統計データを用いる急速管理法、及びRI法等の試料非採取法がある。

イ. 試料採取法

試料採取法は、原位置における試料の採取、その試料が占めていた体積の測定、室内での試料の質量及び含水比等の測定からなる。

体積測定は置換法（砂・水・ベントナイト等）があり、砂置換法には注砂法・突き砂法がある。水置換法にはラバーバルーン法・シート法・ワシントンデソメータ法等があり、直接法にはコアカッター法・モールド円筒法等がある。

密度測定における最大の問題点は容積測定であり、砂置換法及び水置換法の場合のレキや孔壁の凹凸が大きな影響をあたえるし、レキ質土やロック材等のように盛土材料の粒径が大きい場合は、試料採取量が小さいと誤差が大きく、試料採取量が多いと労力と時間を要することになる。

含水比の測定は原則的に炉乾燥法によっているが、乾燥に6～8時間を要するため、現場試験としては簡便なフライパン法・アルコール燃焼法・赤外線乾燥法・電子レンジ法・ピクノメータ法等の急速含

水比試験によることが多い。この場合、炉乾燥法とのキャリブレーションが必要である。

密度試験結果を直接用いる方法としては、締固め度：密度比が一般的であり、最大乾燥密度との比で表すD値と、室内締固め試験密度との比で表すC値がある。

密度試験結果を間接的に用いる法としては、飽和度又は空気間隙率による方法があり、空気間隙率による方法は、粒度分布の大きい細粒土を含むプラスチックな土・砂質土・レキ質土に奨励されている。又、我が国においては、道路関係で早くから採用されており、フィルダム等での採用も見られる。

ロ. 統計データを用いる急速管理法

急速（迅速）管理法としては、Hill（ヒル）法が知られている。これはHillが最大乾燥密度と最適含水比との関係をもとに提案した手法で、USBR（米国開拓局）の標準になっている。この方法は現場の密度測定と室内締固め試験だけ行えば、特別な器具類を必要とせずに1時間以内に乾燥密度と含水比が求められる。

ハ. RI法等の試料非採取法

RI法は、密度を γ 線密度計で、含水比を中性子水分計で測定するものであり、密度計には透過型・後方散乱型・AirGap型がある。RI法は砂置換法等に比べ測定時間が短く、個人差も少ないうえ、非破壊試験に近い等の利点があり、土の性状が均質なものについては測定誤差が小さいとされているが、キャリブレーションと統計処理が必要となるほか、粗粒土やロック材等のようにレキの含有率が高い場合や粒度の変化が多い場合には向かないとされている。又、RI法はその特性から絶対的な方法とは言えないが、締固めの均一性や相対的な締固め状況の把握等には利点が多く、今後、大規模工事等への導入が期待されるが、現在では砂置換法等の併用例が多い。

② 強度による方法

強度による方法には、平板載荷試験、CBR試験、貫入抵抗法、動的載荷試験等がある。

平板載荷試験等は盛土の支持力試験に用いられるが、日常の施工管理試験には余り用いられていない。貫入抵抗法としてはコーンペネトロメータ法が軽便な現場試験法として締固めの管理に用いられているが、貫入抵抗と締固め度の相関の検証が必要である。

これらの強度による管理手法は、土質及び含水比が一定であり、かつレキ分の影響の少ないものには有効な手法と考えられている。

③ その他の方法

その他の方法としては、オハイオ標準締固め曲線法、沈下量による管理や加速度測定法、球体落下試験法がある。

オハイオ標準締固め曲線法は、数多くの試験の結果から標準的な締固め曲線と、これに対応する含水比一貫入抵抗曲線を定め、現場密度と貫入抵抗から最大乾燥密度と含水比を求め、締固め度を求めるものであり、米国ではHill法とともに使用されている。

沈下量による管理は、水準測量を行うもので密度試験より早く正確な締固めの把握が可能で、締固め試験等には利用されている。

加速度測定法は、土が固まると地盤反力が増大し、土のバネ定数や減衰定数が変化する特性を利用して締固め度を判定するもので、強制振動源として締固め機械である振動ローラーを用い、締固め中の振

動加速度を測定する方法であり、測定結果を直接使用する直接法と、調和解析して用いる調和解析法がある。又、調和解析法にはスウェーデン方式と土木研究所方式がある。

球体落下試験法は、一定重量・一定直径の球体を一定高さから落下させたときに生ずるくぼみの弧の長さを盛土施工管理の指標とするもので、北海道開発局において未風化火山灰等の突固め曲線で最大乾燥密度が得られない土の試験法として採用されている。

(3) 中小規模工事における施工管理の実態

表－4.1.2に示すように1工事当りの盛土量は5,000～25,000 m^3 程度の比較的工事規模の小さなものが多く、1日当りの施工量は200～300 m^3 程度である。また、盛土材料が均一ではなく複数の異なった材料を使用することが多いようである。

施工管理の基準は表－4.1.23、表－4.1.25に示すとおり主に砂置換法により実施しているが、前述したように複数の異なった材料を使用する事が多く、しかも混合盛土となる事から混合盛土に見合った管理手法が望まれている。

(4) 大規模工事における施工管理の実態

イ. ダム工事（東北地建）

盛土の締固め管理は、表－4.1.20に示すように締固め機械、転圧回数、まき出し厚の規定と密度規定を併用しており、密度測定は砂置換法又は水置換法によっている。又、施工仕様、品質管理基準は室内と実際の施工との間に、材料の最大粒径、締固めのメカニズム、作業量等にかんがりの相違があるため、施工前に現場において盛土材料（使用土質）毎に、使用機種、まき出し厚、仕上げ厚、転圧回数等をそれぞれ変化させた試験施工を実施し、要求される品質特性との相関を調査し、最適基準を設定しているが、現場における実際の施工管理面から考えると次のような問題等がある。

- ① コア材のように比較的均質な材料の場合は問題も少ないが、レキの含有率が多い場合や、粒度が変動する材料の場合は、品質特性に対し影響が大きいので材料の分離に注意が必要である。
- ② 一層の仕上がり厚さと測定深さが異なった場合は、密度を過大評価する可能性があり、まき出し厚と転圧回数を厳重に管理する必要がある。
- ③ ロック材のように、粒度が大きくなればなるほど空隙が多くなり、試料採取に労力を費やすほか試験結果にもバラツキが多くなる。
- ④ 少数の点的データで全体の品質特性を総合評価することになっており、面的な管理が必要である。
- ⑤ コア材の締固め管理にR I法を併用し総合的な締固め状況の把握を図ったが、砂置換法との相関にバラツキが多く、途中から砂置換法のみで切換えて管理した例もある。

ロ. 都市開発（地域整備振興公団）

大規模工事としての土地造成工事は、表－4.1.21に示したように敷均し・締固め機械とも16～21 t級ブルドーザを使用し、層厚を規定して施工させている。又、盛土の締固め管理は同表の通り、J I Sの砂置換法による密度管理を実施しているが、測定の頻度は、八戸事業所以外では全体盛土量の20％に達するまでは1万 m^2 に1回、それ以降は2万 m^2 に1回となっている。

ハ. 道路工事（日本道路公団）

高速道路工事においては、一般の工事と比較して工種・土質の変化とも比較的少ない大規模工事が多

いため、大型あるいは専用の機械の使用が可能となる。このため敷均しは16～21 t級ブルドーザーを、締固めは20 t級のタイヤローラー又は起振力20 t級の振動ローラーを使用することが多い。また、盛土の締固めの管理は密度比又は空気間隙率によっている。

なお、道路公団においては昭和62年4月より、土工量が3万 m^3 以下の小規模工事等を除き、従来の砂置換法に代えR I法による管理を行っているが、その採用理由は次による。

- ① 土質毎のキャリブレーションが不要な計測機器およびデータ処理法が開発された。
- ② マイコンの組込みによって計算結果が速やかに得られるようになった。
- ③ 100 μ キューリ以下の測定器が開発され、免許無しでの取扱いが可能になった。

管理は密度比又は空気間隙率の規定が満足されれば、所定の強度が確保されるという考えによるもので、このような方法で実行的にも問題は出ていないようである。ただし、盛土材料については、用途別に品質（粒径、CBR等）の規定があり、基準以上の品質を有するもの以外の使用は出来ないことになっており、その基準は次のようなものである。

- ① 空気間隙率による管理を行わない場合
 - ・細粒分含有率20%以下
- ② 空気間隙率の基準値
 - ・細粒分含有率が20%～50%の場合は空気間隙率13%以下
 - ・細粒分含有率が50%以上の場合は空気間隙率8.0%以下
- ③ 材料の基準値
 - ・上部路体：CBR2.5以上、下部路床：CBR5.0以上、最大150mm以下
 - ・上部路体：CBR10以上、最大粒径100mm以下、スレーキング率50%以下、PI10以上、細粒分含有率25%以下

4.1.3 現行の施工管理基準

(1) 施工管理基準の実態調査

現行の施工管理基準について建設省の他、北海道開発局、公団、府県および政令指定都市の協力を得て調査したところ、おおむね建設省に準じて制定されている。なお、調査に協力された機関は、日本道路公団、本州四国連絡橋公団、日本下水道事業団、住宅都市整備公団、水資源開発公団、大阪府、京都府、福井・滋賀・兵庫・奈良・和歌山の各県、大阪市、京都市、神戸市、並びに大規模工事を対象として日本道路公団、地域整備振興公団である。

(2) 品質管理基準（試験項目）

各機関の品質管理試験項目を表-4.1.23に示す。これによると品質管理基準のうち材料試験は、各機関ともほぼ同じであるが、日本道路公団等では路体・路床を上・下部に分けている。又、現地試験は、中小規模の工事の多い機関はほぼ同じであるが、公団関係やダムは独自に実施している。

表-4.23 各機関の品質管理項目の例

試 験 項 目	試 験 方 法	建設省 日本道路公団									
		建設省		上 部		下 部		京 都 府		京 都 市	
		道 路	河 川	路 床	路 体	路 床	路 体	路 床	路 体	路 床	路 体
土粒子の比重試験	COON A1202 JIS A1202	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
砂の比重及び吸水率	COON A1202 JIS A1110			○	○	○	○				
含 水 量 試 験	COON A1203 JIS A1203	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
土の粒度試験	COON A1201 JIS A1204	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
土の液性限界試験	COON A1205 JIS A1205	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
土の塑性限界試験	COON A1206 JIS A1206	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
土の突固め試験	COON A1210 JIS A1210	◎	◎	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎
C B R 試 験	COON A1211 JIS A1211	◎		○	○	○	○	◎		◎	
土の透水試験	COON A1218 JIS A1218	○	○					○	○	○	○
土のコンパクション試験	COON 101 JIS A1220			○	○						
岩の硬さ試験	COON 109			○	○	○	○				
岩のSLP試験	COON 110			○	○	○	○				
土の三軸圧縮試験	JIS A1216	○	○					○	○	○	○
土の三軸圧縮試験(土試験標準)		○	○					○	○	○	○
土のせん断試験	"	○	○					○	○	○	○
土の圧密試験	JIS A1217	○	○					○	○	○	○
現場密度測定	JIS A1214	◎	◎					○	○	○	○
飽和度測定	JIS A1214	◎	◎					○	○	○	○
ブルーフローリング		◎						○	○		
現場C B R試験	JIS A1211	○						○	○		
平板載荷試験	JIS A1215	○						○	○		
土の含水量試験	JIS A1203	○	○					○	○	○	○
コンパクションの測定		○	○					○	○	○	○
突固め試験	COON A1206										
土粒子比重試験											

注：◎：必須 ○：条件による

表-4.24 盛土材料及び仕上厚

官 庁 名	盛土材料最大寸法 (cm)			一層の仕上げ厚 (cm)		
	路 体		路 床	路 体		路 床
	道 路	河 川		道 路	河 川	
建設省	30		20	30		20
阪神高速	30		上部 10 下部 15	30		20
福井県	30cm以上は路 体の下部へ		20	30	30	20
京都市	30cm以上は路 体の下部へ		20	30	30	20

注：建設省の規定は共通仕様書

(3) 盛土材料及び仕上がり厚

各機関の盛土材料寸法及び仕上がり厚の例を表-4.24に、ダム等の大規模工事の例を表-4.20～表-4.22に示す。これによると公団関係やダムでは独自の方法がとられている。

(4) 品質規格及び試験基準

各機関の品質規格及び試験基準の例を表-4.25に、ダム等の大規模工事に例を表-4.20～表-4.22に示すが、公団関係やダムでは独自の方法が見られる。

表-4.25 品質規格及び試験規準（現場密度の測定）（その1）

機 器	道 路 路 床		道 路 路 体		河 川		記 事
	規 格 値	試 験 基 準	規 格 値	試 験 基 準	規 格 値	試 験 基 準	
建設省 東北地建	最大乾燥密度90%以上 粘質土：指示含水比において飽和度85%以上、空気間隙率10%以下	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上 粘質土：指示含水比において飽和度85%以上、空気間隙率10%以下	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上 粘質土：指示含水比において飽和度85%以上、空気間隙率10%以下	築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	共通仕様書（土木工事）
建設省 関東地建	最大乾燥密度90%以上 粘質土：飽和度85～95%、空気間隙率10%～2%以下	1 ロッド2,000 m ² を標準として5回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上 粘質土：飽和度85～95%、空気間隙率10～2%以下	1 ロッド2,000 m ² を標準として5回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上		1 ロッド2,000 m ² を標準として5回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上（法面法）（部省略）	土木工事必修
建設省 北陸地建	最大乾燥密度90%以上	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上	築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	土木工事共通仕様書
建設省 中部地建	最大乾燥密度90%以上 （第1法の場合は95%以上、第2法の場合は90%以上）	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上 （第1法の場合は90%以上、第2法の場合は85%以上）	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上 （第1法の場合は90%以上、第2法の場合は85%以上）	築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	土木工事共通仕様書
建設省 近畿地建	最大乾燥密度85%（飽和度の場合85～95%）を10回に1回以上の確率で下がってはならない	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	河川を準用	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度80%（飽和度の場合80～95%）を10回に1回以上の確率で下がってはならない	築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	土木請負工事必修 飽和度：締固め密度測定が不適当の場合
建設省 中国地建	最大乾燥密度の90%以上 飽和度85～95%	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上、1回につき3箇所	最大乾燥密度の85%以上 飽和度85～95% （盛土法面及び路体）	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上		築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上、1回につき3箇所	土木工事共通仕様書 盛土法面は1,000 m ² に1回、1,000 m ² 未満は1回以上
建設省 四国地建	最大乾燥密度90%以上	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上 （路体、路肩）	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	路体を準用	築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	土木工事必修
建設省 九州地建	最大乾燥密度90%以上	500 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	最大乾燥密度85%以上	1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	JISA 1214又は飽和度（粘性土）	築堤は1,000 m ² に1回、5,000 m ² 未満1工事当り3回以上、1,000 m ² 未満1工事当り1回以上	土木請負工事必修

表-4.25 品質規格及び試験規準（現場密度の測定）（その2）

機 関	道 路 土 工（盛土工）		河 川 土 工（盛土工）		記 事
	規 格 値	試 験（測定）基 準	規 格 値	試 験（測定）基 準	
北海道 開発局	原則として第2法による最大乾燥密度の85%以上。土質により第1法によるときは90%以上。承諾を得たときは飽和度85~95%空気間隙率2~10%	1,000 m ² に1回盛土工所の主点付近3か所の平均。大粒径のレキ混入する土砂（用土土砂）若砂等の使用で管理が不要の場合は承諾で省略できる。	原則として第2法による最大乾燥密度の85%以上。第1法によるときは90%以上。飽和度85~95%空気間隙率2~10%	延長200 m又は5,000 mを1ブロックとし、3断面を選定し断面から3個ずつの平均値（3個の資料の平均値は規格値を下回って	道路・河川工事仕様書 試験盛土により締固め度を定める場合この規格値を適用しない。 密度管理が不適当な土については監督員の承諾を受け飽和度、空気間隙率管理とする。 球体落下試験は未風化火山灰などの突固め曲線で最大乾燥密度が得られない土に適用する。 *：最大乾燥密度・飽和度による管理ができない土質に適用
	球体落下試験（D=6.3cm）		球体落下試験（試験盛土等で別途特定仕様書に定める）		
			水試験盛土及び築堤盛土の密度（試験盛土による設計圧縮回数時の試験値以上）		

表-4.25 品質規格及び試験規準（現場密度の測定）（その3）

機 関	盛土の種類	種 別	試 験 項 目	試 験 頻 度	規定値（75μmふるい通過分）	規定値（その他）	記 事
日本 道路公社	路 床 部	上三層床	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回	規定値（75μmふるい通過分） ＜20% ≥50% 50%~20%	KODAN A1210
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日15点		Dc ≥97%	
		下三層床	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土粒子の比重試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（15点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日15点		Va ≤8% Va ≤13%	
	路 基 部	上三層床	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	10,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（15点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日15点		Dc ≥92%	
			密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土粒子の比重試験）	10,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（15点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日15点		Va ≤8% Va ≤13%	
		下三層床	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	20,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（15点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日15点		Dc ≥92%	
			密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土粒子の比重試験）	20,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（15点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日15点		Va ≤8% Va ≤13%	
		正法規定管理の土質	基準試験	20,000 m ² に1回、材料毎に1回			モデル施工により決定
			日常管理試験	施行箇所1箇所毎			
			密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN A1210
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点		Dc ≥97%	
	保 護 敷 設 部	表込A	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土粒子の比重試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（6点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点		Va ≤8% Va ≤13%	
			密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（6点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点		Dc ≥92%	
		表込B	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土粒子の比重試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（6点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点		Va ≤8% Va ≤13%	
			密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	20,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（6点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点		Dc ≥90%	
		オアシ	密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土粒子の比重試験）	20,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN 106（6点の平均値）
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点		Va ≤10% Va ≤15%	
			密度比（Dc）管理の土質	基準試験（土の突固め試験）	5,000 m ² に1回、材料毎に1回		KODAN A1202
			日常管理試験（RI計器・密度含水量）	施行箇所1箇所毎に1日6点			

「土と基礎 May, 1986 高速道路における盛土の締固め（石井・三嶋）」

4.1.4 現状の問題点

(1) 締固め管理の特殊性

「盛土」は、現地の土を利用して経済的に、安全で耐久性のある構築物をつくることにほかならない。このため、我々が施工中に知りたいのは、締固められた「盛土」のせん断抵抗、圧縮性・変形性、透水性、将来にわたる安定性等力学的な性質である。

このように「盛土」における締固め管理の重要性は理解されているが、現実の問題として土工は現場の地形・地層、気象等の自然条件に大きく影響され、土の性状（種類・含水比等）や施工法等によって品質が変化するため、工場生産の品質管理とは異なった困難性を持っており、合理的な手法開発の障害となっている。

(2) 試料採取法による現場密度管理の問題点

全層的・全面的な締固め度の非破壊測定で直接的な計測法は現在でも確立しておらず、長い間「盛土」の管理は、先に述べたとおり、JISに定められた砂置換法に基づく現場密度や含水比を測定し、締固めの良否を判定しているのが一般的である。このため、施工管理の面から次のような問題点が指摘されている。

- ① 試料採取は、体積測定、計量という現場作業に、1箇所あたり20分程度の時間を要するほか、炉乾燥法による含水量の測定に一昼夜を要するため、いわゆる施工管理の理念：調査→判定→処置（密度不足箇所の締固めの実施）に合致しない面がある。
- ② 現場測定作業に2～3人を必要とする。
- ③ 上記の理由に起因し測定数を増やすことが困難となり、少数の点としてのデータしか得られず、面的締固め管理が期待出来ない。

このため、例えばダムにおける1日当たりの施工量は、1,500～11,700 m^3 、高速道路工事では、2,000～5,000 m^3 、都市開発事業では2,200～10,000 m^3 となっており、1日当たりの作業量に対する測定頻度が少なく、大量・急速施工に見合った管理手法とは言いがたい。

一方、建設工事を取りまく情勢は、品質・機能の向上と経済性の追及が強くなる半面、建設工事に従事する労働者の不足や未熟練労働者の就業、あるいは苛酷な労働からの解放や労働時間の短縮を求められるのは時代の潮流である。そこで、生産性向上や機械化施工の推進、締固め機械の自動化等にも対応するため、締固め管理について大規模工事にも対処出来る合理的な手法の確立が強く望まれている。

(3) 密度のばらつき

盛土の品質を確保するためには、締固め不足による盛土の弱部をなくすことが肝要であり、これが施工管理の主要な目的ともなっている。ところが、従来の方法では多量の土に対しわずかな密度測定しか行っておらず、いわゆる点としての管理しか行われていない。盛土の均一性を高めるためには、新しい施工管理手法を開発し、面的な管理を行えるようにすることが必要である。

(4) まき出し厚と施工管理

一層内の密度の分布は必ずしも均一ではなく、盛土材料の性状、まき出し厚、転圧機械・転圧回数・転圧速度等によって変化するので、サンプリング箇所によって相違が生ずる可能性が大きい。

また、密度測定における孔の深さは、砂置換法においても最大25cm程度、水置換法では粗粒土を対象

としているため40cm程度となり、R I 法では線源棒の深さしか測定出来ない。このため、まき出し厚よりも測定深さが浅く、結果として浅い部分のみの密度を評価していることになる。

この問題に対処するには、測定深さを大きくする必要がある、そのためには多大の労力を要することになる。

(5) 土質と密度管理

工事の規模・条件によっては必ずしも同一土質での施工とは限らず、土質の変化や混合使用等が考えられる。このため、土質の変化ごとに突き固め試験が必要になったり、混合土の状況に応じた管理規準の策定が必要になる。

又、突き固め試験で最大乾燥密度を決めがたい粘性土や、自然含水比が高く最適含水比に調整が出来ない盛土材料などへの対応が困難である。

(6) 締固め機械と施工管理機器の開発

これまでの我が国における締固め機械の開発は、機械の大型化、施工能力の向上や経費の節減に重点が置かれており、施工と品質管理を結びつけた研究は進展していないように思われる。今後は、締固め機械と品質管理を有機的に結びつけた施工システムを確立する必要がある。

4.1.5 施工管理の合理化に向けて

施工管理手法の実態については、4.1.2で述べたが、同項でふれたもの以外の研究開発の現状を次に示す。

(1) R I 法

R I 法は砂置換法等に比べ測定時間が短く、個人差も少ないうえ、非破壊試験に近い利点があり、我が国においてもかなり早い時期に導入されていた。従来の機器は、土の性状が均質なものについては測定誤差は小さいものの、キャリブレーションと統計処理が必要となるほか、放射線の取扱資格が必要なこともあって全面的な採用には至っていなかったが、機器の開発が進み取扱資格を必要としない100 μ キューリー以下の低レベル線源となったほか、電子機器の発達によって土質の変化にも対応可能なキャリブレーションと統計処理も容易に行えるようになった。これによって、実用化が急速に進み、大規模土工を実施する日本道路公団等では標準的な手法として採用されるに至った。

なお、土木研究所においても、建設省総合技術開発プロジェクト「エレクトロニクスを利用した建設技術高度化システムの開発」の一環として表面散乱型のR I 計器の開発が進められている。従来の透過型R I 計器は、線源棒を土中に挿入する必要があるが、現在開発中の表面散乱型は線源棒を挿入することなく、地表面から密度・含水比を測定しようとするものである。これによって、非破壊試験で連続的・定量的な測定が容易に可能になることから、締固めの程度をリアルタイムに把握することは勿論のこと、現在の点的管理から面的管理へと転換させることが可能となり、今後の開発成果が期待されている。

(2) 加速度測定法

加速度測定法は、土は締固まると地盤反力が増大し、土のバネ定数や減衰定数が変化する特性を利用して、締固め度を判定するもので、①振動源として振動ローラーの振動特性を利用する方法、②小型加振機を用いる方法、③インピーダンスヘッド法、④コーン落下法、⑤衝撃加速度法等の開発が進められ

ている。このうち、②～④については、建設省総合技術開発プロジェクト「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」の一部として土木研究所が開発を進めており、機械化施工に対応した手法として注目されている。

振動源として振動ローラーの振動特性を利用する方法には、直接法と調和解析法があり、調和解析法には、⑥スウェーデン法と⑦土木研究所法がある。⑥のスウェーデン法は、3次以上の振動成分は振動ローラーのベアリング等のノイズであるとして、フィルターで消去し、「基本振動の加速度」と「2次調和振動成分の加速度」のみを抽出し、両者の比を一定時間（5～30秒程度）積分したものを平均して管理値としている。なお、この値を調和振動比：HVRとよんでいる。測定にあたっては、このHVR測定器を振動ローラーに取付けている。⑦の土木研究所法は、「2次以上の調和振動成分加速度のすべての平方和の平方根」に対する「基本振動成分加速度」との比をとっている。これを「ひずみ率」と定義し、締固め度の管理にしようとするものである。

②の小型加振機を用いる方法は、ダイナミックスピーカと同じ原理の電磁効果を利用したもので、地盤上に試験装置を直接設置して地盤を加振し、地盤の振動伝達特性（インピーダンス特性）を計測するものである。特に、地盤～加振機系の共振振動数と地盤の締固め程度との間に相関のあることを利用して締固め管理に応用しようとするものである。

③のインピーダヘッド法は、土が締固まるにつれて、弾性体としての土の体積弾性率が大きくなることから、土の体積弾性率に逆比例する量としてのコンプライアンス（一般的に言うバネ定数の逆数に対応した量）を測定することによって締固め程度を判定しようとするものである。インピーダンスヘッドは測定対象の振動の周波数応答関数等を測定する機器であるが、インピーダンスヘッドに重垂を取付け、これを土の表面に落下させることによって、接触コンプライアンスを測定する方法である。

④のコーン落下法は、土の締固めの進行に伴い変化する動的応答特性の変化に着目し、一定重量の重垂を一定高さより自由落下させ、衝撃応答として最大衝撃加速度、平均衝撃力及びメカニカルインピーダンスを締固め指標とし、土の締固め度を判定しようとするものである。

⑤の衝撃加速度法は北海道開発局が開発中のものであり、特殊形状のランマーを自由落下させたとき生じる衝撃加速度を締固めの指標にしようというものである。

(3) その他の方法

その他の方法としては、①土の比誘電率と電磁波の伝搬速度の変化を利用した電磁波法、②弾性波の伝搬速度の変化を利用した弾性波法等の開発が進められている。なお、この2法とも建設省総合技術開発プロジェクト「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」の一環として研究が進められているものである。

4.2 コンクリート工における施工管理について

土木工事は、その範囲がきわめて広く、河川・道路・建築など多方面にわたっており、いずれの工事でもコンクリートを工事の材料として使用している。したがって、土木工事におけるコンクリートはきわめて大切な材料となっている。

良いコンクリート構造物を造るためには、強度・耐久性・施工性・経済性等の因子を十分考慮しなければならない。そのため、建設工事の機械化の推進とともに振動機を始めとする各種施工機械が開発された。今後は、これら機械による効率的な施工に合わせ、測定機器と合理的な品質管理手法の開発整備による品質の確保と施工合理化の両立が望まれている。

本節では、コンクリート工における施工法、施工管理手法、施工管理基準等の現況をまとめ、現在のコンクリート工における課題を明らかにするものである。

4.2.1 施工法の実態

(1) 施工手順

建設省では、コンクリート構造物を表-4.26のように分類している。

表-4.26 コンクリート構造物の分類

種 別	コ ン ク リ ー ト 構 造 物 の 種 類
無 筋 構 造 物	重力式擁壁等のかなりマシブな無筋構造物、無筋、鉄筋構造物の捨コンクリート及び比較的単純な鉄筋を有する半重力式擁壁、橋台等の構造物
鉄 筋 構 造 物	突桁式桁壁、扶壁式擁壁、ボックスカルバート、突桁式橋台、扶壁式橋台、橋梁床板橋脚、水門函渠等の鉄筋量の多い構造物
小 型 構 造 物 (Ⅰ)	最大高さ1m程度の鉄筋擁壁、水路、側溝等のコンクリート断面積が小さく(1㎡以下)、連続している構造物
小 型 構 造 物 (Ⅱ)	コンクリート量が少なく形状が複雑な構造物及び道路照明、標識、防護柵の基礎等少量(1㎡以下)のコンクリート量で点在する構造物

コンクリート工における施工手順は、構造物の種類によって種々異なるが標準的な作業フローを図-4.3に示す。

なお、コンクリート工の研究を進めるに当たり、作業フローの主な工程について、コンクリート工における施工管理の動向を把握するために昭和61、62年度施工の工事のうち中国地建・中部地建を対象としてアンケート調査を実施した。以下、アンケート調査結果を踏まえ述べることとする。

(2) 運 搬

コンクリートの運搬は、コンクリートプラントから打込み現場までであり、主としてトラックミキサが使用されている。その他の工法には、トラックにコンクリートバケットを積載して運搬する工法や、ダンプトラックに直接積載する工法もあるが、施工例は少ない。

ダムの工事では、トランスファーカや台車とコンクリートバケットの組合せによる工法が採用されている。

(3) 型 枠

型枠の種類には、合板型枠・鋼製型枠・アルミ合金型枠・プラスチック製型枠等があるが、通常は合板型枠または鋼製型枠が使用されている。アンケート調査結果(図4.1)で、合板製型枠が最も多く使用されていることがわかる。これは、経済性、施工性等にすぐれているからである。

最近は、型枠工法として大型型枠工法・移動式型枠工法および押出し工法も採用されている。

(4) 打込み

コンクリートの打込みには、コンクリートポンプ車による工法が最も多く、その施工例は全体の63%に達している（図-4.2）。

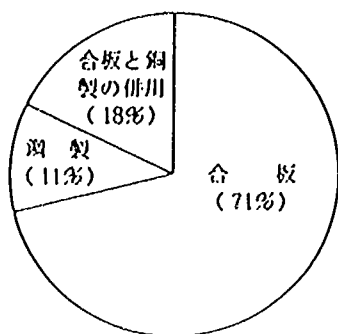


図-4.1 型 枠 の 実 態

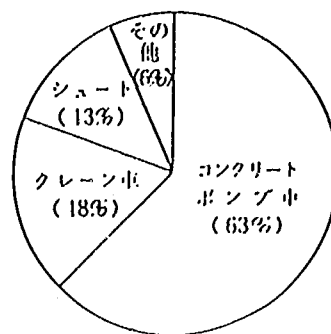


図-4.2 打 込 み の 実 態

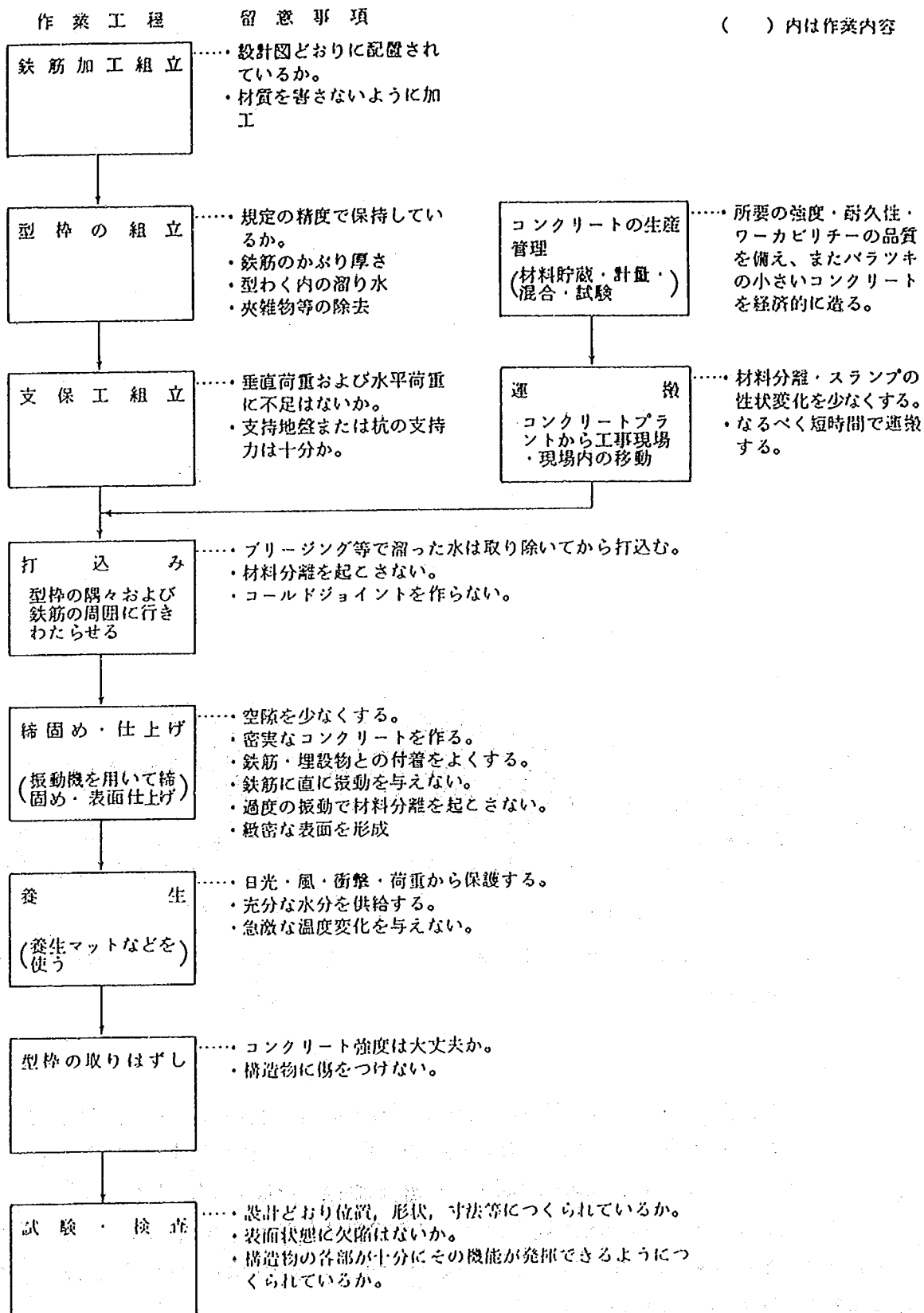


図-4.3 コンクリート施工の作業工程

その他の工法には、クレーンとコンクリートバケットによる工法、シュートによる工法等があり、また、小運搬用具として2輪車や1輪車が使用されていることもある。

コンクリートポンプ車による工法は、昭和40年代に、これまで採用されていたクレーン工法に変わり急速に発展し、我が国のコンクリート打込み工法の主流となった。これは、従来工法に比べて効率がよく、経済性にもすぐれているためである。

コンクリートポンプ車により打込みする場合のコンクリートは、最大骨材寸法20~40mmスランプ8cm以上のものが多いが、骨材は小さめで、スランプは大きめになる傾向がある。

コンクリートポンプの形式には、ピストン式・スクイズ式・ダイヤフラム式があり、現在は、主にピストン式・スクイズ式が使用されている。

また、搭載方式からみると、トラック・スキッド・トレーラ・軌条走行式に分類されるが、トラックに搭載したポンプ車が最も多く使用されている。国内で保有している40m³/h以上のポンプ車の台数は3,500台程度であり、大半はコンクリート圧送業者が保有している。昭和59年度の年間新規登録台数は約350台で、ブーム付ポンプ車の占める割合は約90%となっている。

スクイズ式(図-4.5)は、ピストン式(図-4.4)に比べて吐出圧力が低いので、長距離輸送や低スランプコンクリートの圧送にはピストン式のものが適している。

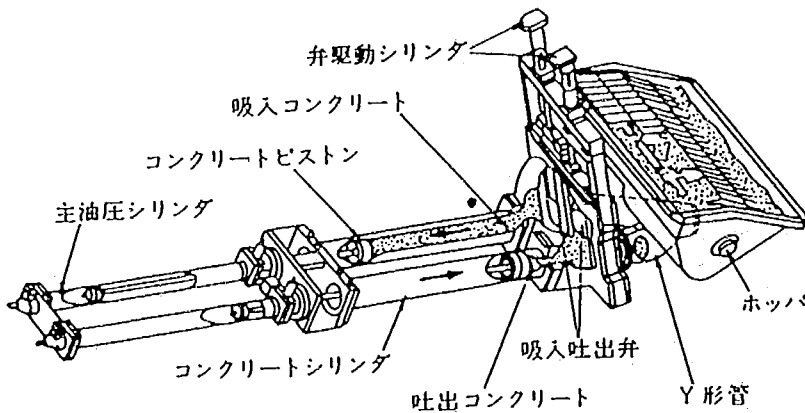


図-4.4 ピストン式コンクリートポンプの構造例

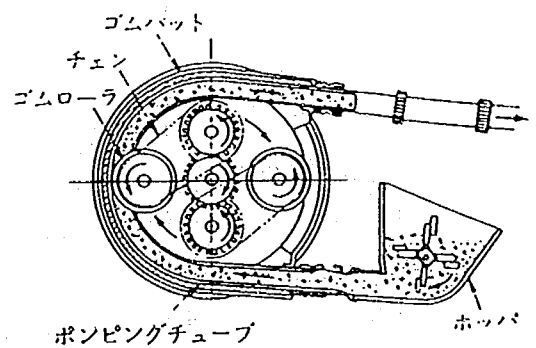


図-4.5 スクイズ式コンクリートポンプの構造例

(5) 締固め

コンクリートは、打込み直後に十分締固めを行い、鉄筋の周囲や型枠の隅々まで行き渡るようにするとともに、余分なエアや水分を追い出したりして密実なコンクリートにしなければならない。

コンクリート振動機には、内部振動機(棒状)・型枠振動機・表面振動機などがある。アンケート調査によると、内部振動機の使用がほとんどであり、1層の打込み高さは、最小10cm、最大150cmであり、40~50cmが最も多く60%となっている。又振動機の施工間隔は、最小30cm、最大150cmであり、40~50cmが最も多く、61%となっている。

図-4.6に振動機の使用実態、図-4.7に1層の打込み高さ、図-4.8に振動機の施工間隔を示す。

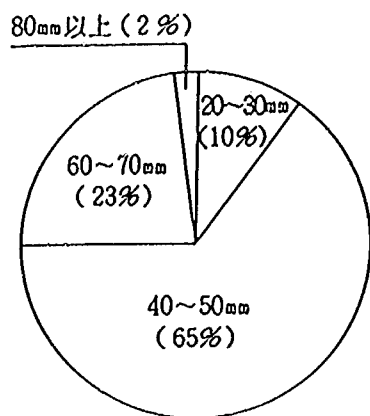


図-4.6 振動機の使用実態
(振動機径)

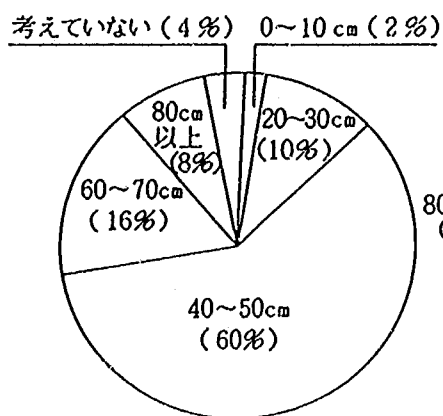


図-4.7 1層の打込み
高さ

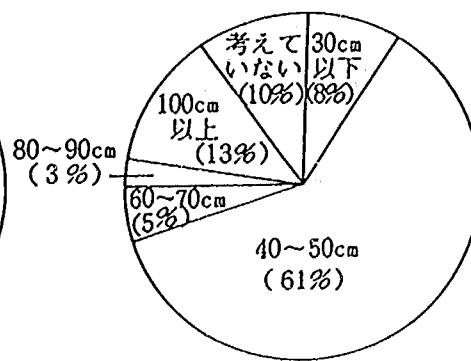


図-4.8 振動機の施工
間隔

(7) 養生

養生は、コンクリート施工の良否を左右する最後の作業であり、十分な強度を発現させるとともに、ひび割れを生じないようにするために行うものである。養生の方法として、最も一般に行われている方法は湿潤養生であり、必要に応じて被膜養生が行われる場合もある。特殊な養生方法としては、寒中工事における加熱養生、断熱型枠、プレキャスト部材の製造における常圧養生および高圧蒸気養生がある。

アンケートの調査結果を図-4.9に示す。

この図からもわかるように散水とシートを併用した方法が最も多く採用されている。

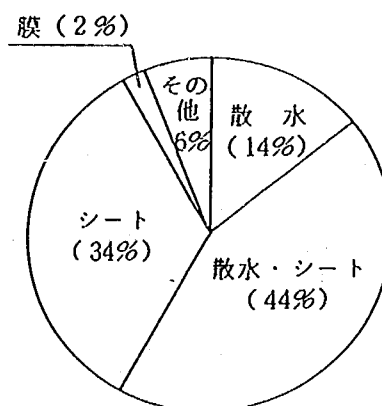


図-4.9 養生の実態

4.2.2 施工管理の実態

(1) 施工

コンクリート打設における打設方法は、コンクリートポンプ車による施工が最も多いのが現状のようであり、この場合、最大骨材寸法は、20~40mmが使用されている。スランプは、ほぼ8cmが多いようである。

コンクリートの締固めについては、ほぼ打設厚40~50cmで施されている。これは棒状振動機40mm~60mmがほとんど使用されており、その長さから来ていると考えられる。

振動機の施工間隔は、40~50cm(図-4.8)が大半であるが、中には1mを超えるものがあり、コンクリートのスランプ等の関係もあるが振動機の振動を十分に伝えるという点からは最適値があると思われる。

(2) 施工管理

一方、打設時に打設コンクリートの品質を確保するために、施工者、監督者は、締固めの目安として、振動機の締固め時間を目安にしているものもあるが、大半は経験的判断（図-4.9）にゆだねられているのが実状のようであり、経験にゆだねられる範囲の大きいことがうかがえる。また、振動機の1ヶ所での締固め時間は、約10～30秒（図-4.10）程度が多いようであるが、振動を均等に伝えるという点から検討する必要がある。施工中、施工担当者は、骨材の分離に気をくばっているとしているが、実態は型枠内でコンクリートの横移動をさせている（図-4.11）のがみられ、移動の程度もあるが、十分な管理が求められる。コンクリート施工中のブリージングをそのままにする（図-4.12）ものがあり、近年はw/cの低いコンクリートが主流になっているものの、限界の明示が望まれよう。養生方法については、散水シートによる方法（図-4.9）が一般的で、温度計測等までは行っていないようである。

以上、現場での実態を述べたが現場で施工監督を行う立場の人がその施工に対してコンクリート打設時において、どのように留意したかについては、次のような順となっている。

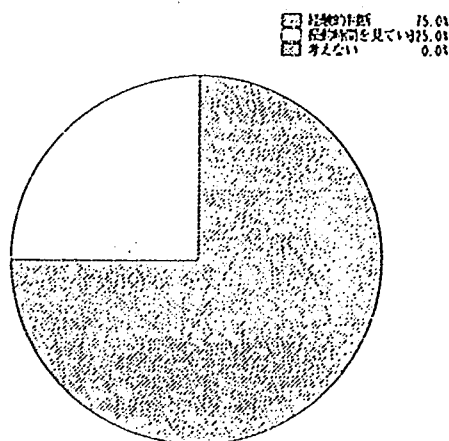


図-4.10 締固めの目安

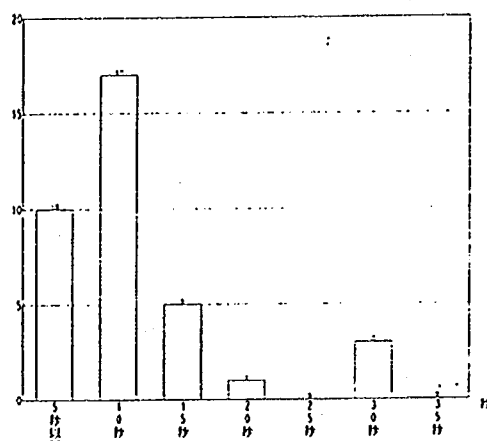


図-4.11 バイブレータの1ヶ所振動時間の目安

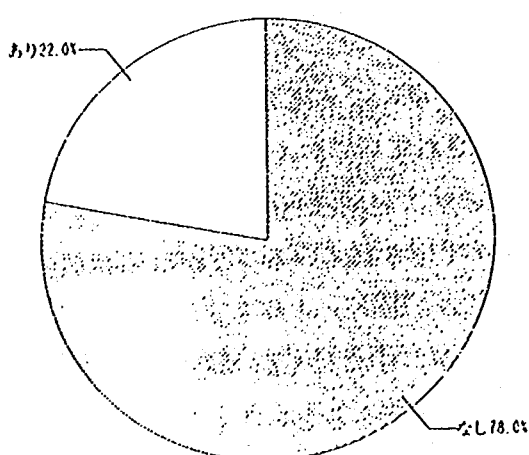


図-4.12 型枠内コンクリート移動

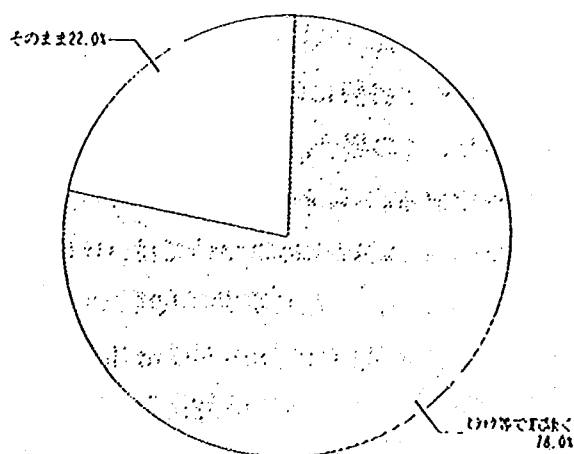


図-4.13 ブリージングがあった場合の処理

- ① 材料分離をさせない配慮をする。
- ② 締固めは十分に行う。特に、型枠周辺について十分な配慮をする。
- ③ 振動機をかけながらコンクリートの枠内移動をさせない。
- ④ 型枠の変形について
- ⑤ ブリージング処理は的確に行う。
- ⑥ 一層の打設厚について
- ⑦ 打込時間についてコンクリートの硬化時間、気温との問題を気にしている。
- ⑧ 型枠面での空気量の減少について、特にコンクリート面のアバタ状について配慮している。
- ⑨ 振動機の施工間隔は、振動機の選定と合わせ締固めの均一性を留意している。
- ⑩ 打継目の清掃、レイタンス処理に配慮している。
- ⑪ 打込コンクリート温度について気温との関係、特にマスコンクリートについて
- ⑫ 打込表面が水平となるように配慮し、均一な締固めを期待している。
- ⑬ 振動機の選定については、高周波振動等について配慮している。

(3) 施工管理に対する自己判定

施工現場において、コンクリート打設作業について、施工監督者自身が、自分で施工した所を自己判定したところ（図-4.13）によると、次のようである。

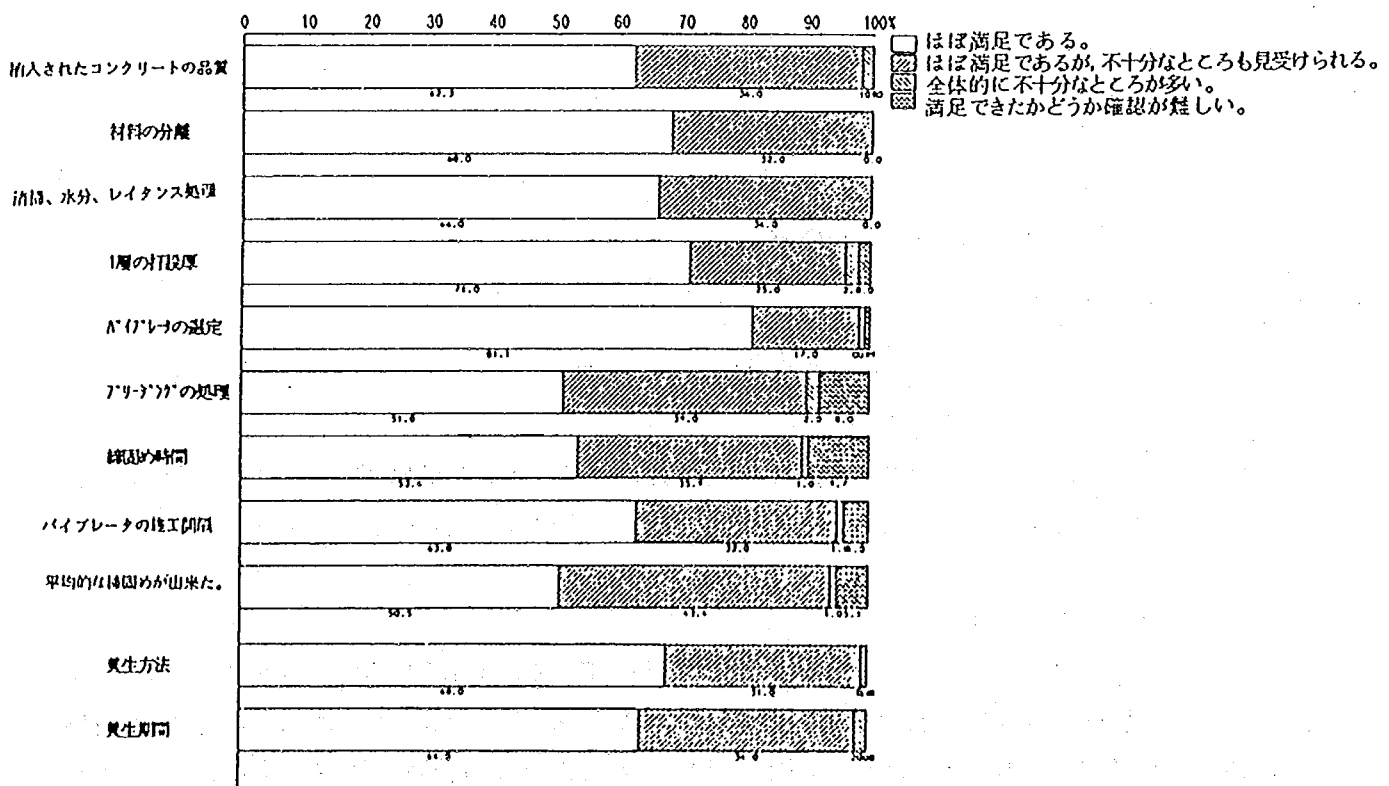


図-4.14 施工管理に関する施工担当者の自己判定

満足であるとしたものは、50～80％であり、特に低いのが締固め評価となっている。これは、その締固め度が経験的に評価されるところにあると考えられる。又、ブリージング処理についてもその程度が判定しがたく、全体的水分量が少いため、除去作業の必要性の判断にまよう部分もあると思われる。

平均的には満足が70％程度、満足であるが一部不満もあるが30％、全体的に不満足はほとんどなし、評価の確認がむずかしいが、数％としており、現場では常に厳しい目で管理されていることがうかがえる。

(4) 施工管理用測定器のニーズ

現場施工管理について、現場施工管理担当者からの管理用器具のニーズが多種あったが、ニーズの高いものから分類すると次のようなものが上げられる。

- ① 締固め度測定器（密度測定も含む）…打設中、直後に測定出来るもの
- ② コンクリート自動温度測定器
- ③ コンクリート工側圧測定器（締固め度の為）
- ④ 水セメント比測定器
- ⑤ 自動空気量測定器
- ⑥ 型枠移動量測定器
- ⑦ 残留空気量測定器
- ⑧ 空気溜りの測定器
- ⑨ 塩化物測定
- ⑩ 材料分離測定器
- ⑪ スランプ測定器（デジタル等表示が出るもの）
- ⑫ アルカリ骨材反応測定器
- ⑬ 標準養生と現場養生の差を測定する機器
- ⑭ 透明型枠
- ⑮ 振動機に挿入時間表示を付ける
- ⑯ 締固め空気量、スランプ、塩分、アルカリ等一度に測定
- ⑰ 打設コンクリートの水分量測定

以上のニーズはいずれもコンクリート打設中、又は打設直前・直後に簡易に出来ることを要望している。中でも締固め度測定器が非常に多く、その点についての現場での管理の難しさがうかがえる。

4.2.3 現行の施工管理基準

各省庁、各公団とも施工管理基準を定めて工事が行われている。土木工事の施工管理は、工程管理・出来形管理・品質管理に分類されており、工程管理は実施工程表により管理し、出来形管理は、設計値と実測値を対比して図又は表を作成して管理している。品質管理は、品質管理基準により実施し、品質管理表を作成して管理している。

コンクリート製品が所要の品質を備え、品質変動がなるべく小さくなるようにするためには良い材料を使用して適切な施工を行うことが必要であるとの観点から受け入れコンクリートの品質チェック及び

表-4.27 各省庁、各公団の品質管理基準

		試験基準 または規格	試 料 の と り 方			
			建設省 水資源公団	J R	日本道路公団	農林水産省
まだ固まらない コンクリート	ス ラ ン プ	JIS A 1101	1日につき2回 (午前、午後) 行う	150㎡ごとに1 回あるいは少な くとも1日1回 行う	最初の連続5台、 以後50㎡毎、強 度試験用供試体 作成時	1日2回 (午前・午後)
	空 気 量	JIS A 1116 1118 1128	1日につき2回 (午前、午後) 行う	150㎡ごとに1 回あるいは少な くとも1日1回 行う	最初の1台、以 後50㎡毎、強 度試験用供試体 作成時	供試体採取時に 1 回
	洗 い 分 析	JIS A 1112	品質に異常が認 められた場合に 行う	—	—	—
	コンクリート 温 度	—	—	—	午 前・午 後 各1回	—
硬化したコンクリート	圧 縮 強 度	JIS A 1108	鉄筋コンクリー トは1日につき 2回その他のコ ンクリートは1 日1回	60㎡ごとに1回 あるいは少なく とも1日1回行 う	1日の打設量が 150㎡未満1回 150㎡を超える 場合ごとに1回 及びその端数に 1回	1日の打設量が50㎡未満、 50㎡または75㎡に1回、 75㎡以上100㎡未満、 100㎡以上150㎡未満、 150㎡以上200㎡未満、 200㎡以上250㎡未満、 250㎡以上300㎡未満、 300㎡以上350㎡未満、 350㎡以上400㎡未満、 400㎡以上450㎡未満、 450㎡以上500㎡未満、 500㎡以上550㎡未満、 550㎡以上600㎡未満、 600㎡以上650㎡未満、 650㎡以上700㎡未満、 700㎡以上750㎡未満、 750㎡以上800㎡未満、 800㎡以上850㎡未満、 850㎡以上900㎡未満、 900㎡以上950㎡未満、 950㎡以上1000㎡未満、 1000㎡以上1050㎡未満、 1050㎡以上1100㎡未満、 1100㎡以上1150㎡未満、 1150㎡以上1200㎡未満、 1200㎡以上1250㎡未満、 1250㎡以上1300㎡未満、 1300㎡以上1350㎡未満、 1350㎡以上1400㎡未満、 1400㎡以上1450㎡未満、 1450㎡以上1500㎡未満、 1500㎡以上1550㎡未満、 1550㎡以上1600㎡未満、 1600㎡以上1650㎡未満、 1650㎡以上1700㎡未満、 1700㎡以上1750㎡未満、 1750㎡以上1800㎡未満、 1800㎡以上1850㎡未満、 1850㎡以上1900㎡未満、 1900㎡以上1950㎡未満、 1950㎡以上2000㎡未満、 2000㎡以上2050㎡未満、 2050㎡以上2100㎡未満、 2100㎡以上2150㎡未満、 2150㎡以上2200㎡未満、 2200㎡以上2250㎡未満、 2250㎡以上2300㎡未満、 2300㎡以上2350㎡未満、 2350㎡以上2400㎡未満、 2400㎡以上2450㎡未満、 2450㎡以上2500㎡未満、 2500㎡以上2550㎡未満、 2550㎡以上2600㎡未満、 2600㎡以上2650㎡未満、 2650㎡以上2700㎡未満、 2700㎡以上2750㎡未満、 2750㎡以上2800㎡未満、 2800㎡以上2850㎡未満、 2850㎡以上2900㎡未満、 2900㎡以上2950㎡未満、 2950㎡以上3000㎡未満、 3000㎡以上3050㎡未満、 3050㎡以上3100㎡未満、 3100㎡以上3150㎡未満、 3150㎡以上3200㎡未満、 3200㎡以上3250㎡未満、 3250㎡以上3300㎡未満、 3300㎡以上3350㎡未満、 3350㎡以上3400㎡未満、 3400㎡以上3450㎡未満、 3450㎡以上3500㎡未満、 3500㎡以上3550㎡未満、 3550㎡以上3600㎡未満、 3600㎡以上3650㎡未満、 3650㎡以上3700㎡未満、 3700㎡以上3750㎡未満、 3750㎡以上3800㎡未満、 3800㎡以上3850㎡未満、 3850㎡以上3900㎡未満、 3900㎡以上3950㎡未満、 3950㎡以上4000㎡未満、 4000㎡以上4050㎡未満、 4050㎡以上4100㎡未満、 4100㎡以上4150㎡未満、 4150㎡以上4200㎡未満、 4200㎡以上4250㎡未満、 4250㎡以上4300㎡未満、 4300㎡以上4350㎡未満、 4350㎡以上4400㎡未満、 4400㎡以上4450㎡未満、 4450㎡以上4500㎡未満、 4500㎡以上4550㎡未満、 4550㎡以上4600㎡未満、 4600㎡以上4650㎡未満、 4650㎡以上4700㎡未満、 4700㎡以上4750㎡未満、 4750㎡以上4800㎡未満、 4800㎡以上4850㎡未満、 4850㎡以上4900㎡未満、 4900㎡以上4950㎡未満、 4950㎡以上5000㎡未満、 5000㎡以上5050㎡未満、 5050㎡以上5100㎡未満、 5100㎡以上5150㎡未満、 5150㎡以上5200㎡未満、 5200㎡以上5250㎡未満、 5250㎡以上5300㎡未満、 5300㎡以上5350㎡未満、 5350㎡以上5400㎡未満、 5400㎡以上5450㎡未満、 5450㎡以上5500㎡未満、 5500㎡以上5550㎡未満、 5550㎡以上5600㎡未満、 5600㎡以上5650㎡未満、 5650㎡以上5700㎡未満、 5700㎡以上5750㎡未満、 5750㎡以上5800㎡未満、 5800㎡以上5850㎡未満、 5850㎡以上5900㎡未満、 5900㎡以上5950㎡未満、 5950㎡以上6000㎡未満、 6000㎡以上6050㎡未満、 6050㎡以上6100㎡未満、 6100㎡以上6150㎡未満、 6150㎡以上6200㎡未満、 6200㎡以上6250㎡未満、 6250㎡以上6300㎡未満、 6300㎡以上6350㎡未満、 6350㎡以上6400㎡未満、 6400㎡以上6450㎡未満、 6450㎡以上6500㎡未満、 6500㎡以上6550㎡未満、 6550㎡以上6600㎡未満、 6600㎡以上6650㎡未満、 6650㎡以上6700㎡未満、 6700㎡以上6750㎡未満、 6750㎡以上6800㎡未満、 6800㎡以上6850㎡未満、 6850㎡以上6900㎡未満、 6900㎡以上6950㎡未満、 6950㎡以上7000㎡未満、 7000㎡以上7050㎡未満、 7050㎡以上7100㎡未満、 7100㎡以上7150㎡未満、 7150㎡以上7200㎡未満、 7200㎡以上7250㎡未満、 7250㎡以上7300㎡未満、 7300㎡以上7350㎡未満、 7350㎡以上7400㎡未満、 7400㎡以上7450㎡未満、 7450㎡以上7500㎡未満、 7500㎡以上7550㎡未満、 7550㎡以上7600㎡未満、 7600㎡以上7650㎡未満、 7650㎡以上7700㎡未満、 7700㎡以上7750㎡未満、 7750㎡以上7800㎡未満、 7800㎡以上7850㎡未満、 7850㎡以上7900㎡未満、 7900㎡以上7950㎡未満、 7950㎡以上8000㎡未満、 8000㎡以上8050㎡未満、 8050㎡以上8100㎡未満、 8100㎡以上8150㎡未満、 8150㎡以上8200㎡未満、 8200㎡以上8250㎡未満、 8250㎡以上8300㎡未満、 8300㎡以上8350㎡未満、 8350㎡以上8400㎡未満、 8400㎡以上8450㎡未満、 8450㎡以上8500㎡未満、 8500㎡以上8550㎡未満、 8550㎡以上8600㎡未満、 8600㎡以上8650㎡未満、 8650㎡以上8700㎡未満、 8700㎡以上8750㎡未満、 8750㎡以上8800㎡未満、 8800㎡以上8850㎡未満、 8850㎡以上8900㎡未満、 8900㎡以上8950㎡未満、 8950㎡以上9000㎡未満、 9000㎡以上9050㎡未満、 9050㎡以上9100㎡未満、 9100㎡以上9150㎡未満、 9150㎡以上9200㎡未満、 9200㎡以上9250㎡未満、 9250㎡以上9300㎡未満、 9300㎡以上9350㎡未満、 9350㎡以上9400㎡未満、 9400㎡以上9450㎡未満、 9450㎡以上9500㎡未満、 9500㎡以上9550㎡未満、 9550㎡以上9600㎡未満、 9600㎡以上9650㎡未満、 9650㎡以上9700㎡未満、 9700㎡以上9750㎡未満、 9750㎡以上9800㎡未満、 9800㎡以上9850㎡未満、 9850㎡以上9900㎡未満、 9900㎡以上9950㎡未満、 9950㎡以上10000㎡未満、 10000㎡以上10050㎡未満、 10050㎡以上10100㎡未満、 10100㎡以上10150㎡未満、 10150㎡以上10200㎡未満、 10200㎡以上10250㎡未満、 10250㎡以上10300㎡未満、 10300㎡以上10350㎡未満、 10350㎡以上10400㎡未満、 10400㎡以上10450㎡未満、 10450㎡以上10500㎡未満、 10500㎡以上10550㎡未満、 10550㎡以上10600㎡未満、 10600㎡以上10650㎡未満、 10650㎡以上10700㎡未満、 10700㎡以上10750㎡未満、 10750㎡以上10800㎡未満、 10800㎡以上10850㎡未満、 10850㎡以上10900㎡未満、 10900㎡以上10950㎡未満、 10950㎡以上11000㎡未満、 11000㎡以上11050㎡未満、 11050㎡以上11100㎡未満、 11100㎡以上11150㎡未満、 11150㎡以上11200㎡未満、 11200㎡以上11250㎡未満、 11250㎡以上11300㎡未満、 11300㎡以上11350㎡未満、 11350㎡以上11400㎡未満、 11400㎡以上11450㎡未満、 11450㎡以上11500㎡未満、 11500㎡以上11550㎡未満、 11550㎡以上11600㎡未満、 11600㎡以上11650㎡未満、 11650㎡以上11700㎡未満、 11700㎡以上11750㎡未満、 11750㎡以上11800㎡未満、 11800㎡以上11850㎡未満、 11850㎡以上11900㎡未満、 11900㎡以上11950㎡未満、 11950㎡以上12000㎡未満、 12000㎡以上12050㎡未満、 12050㎡以上12100㎡未満、 12100㎡以上12150㎡未満、 12150㎡以上12200㎡未満、 12200㎡以上12250㎡未満、 12250㎡以上12300㎡未満、 12300㎡以上12350㎡未満、 12350㎡以上12400㎡未満、 12400㎡以上12450㎡未満、 12450㎡以上12500㎡未満、 12500㎡以上12550㎡未満、 12550㎡以上12600㎡未満、 12600㎡以上12650㎡未満、 12650㎡以上12700㎡未満、 12700㎡以上12750㎡未満、 12750㎡以上12800㎡未満、 12800㎡以上12850㎡未満、 12850㎡以上12900㎡未満、 12900㎡以上12950㎡未満、 12950㎡以上13000㎡未満、 13000㎡以上13050㎡未満、 13050㎡以上13100㎡未満、 13100㎡以上13150㎡未満、 13150㎡以上13200㎡未満、 13200㎡以上13250㎡未満、 13250㎡以上13300㎡未満、 13300㎡以上13350㎡未満、 13350㎡以上13400㎡未満、 13400㎡以上13450㎡未満、 13450㎡以上13500㎡未満、 13500㎡以上13550㎡未満、 13550㎡以上13600㎡未満、 13600㎡以上13650㎡未満、 13650㎡以上13700㎡未満、 13700㎡以上13750㎡未満、 13750㎡以上13800㎡未満、 13800㎡以上13850㎡未満、 13850㎡以上13900㎡未満、 13900㎡以上13950㎡未満、 13950㎡以上14000㎡未満、 14000㎡以上14050㎡未満、 14050㎡以上14100㎡未満、 14100㎡以上14150㎡未満、 14150㎡以上14200㎡未満、 14200㎡以上14250㎡未満、 14250㎡以上14300㎡未満、 14300㎡以上14350㎡未満、 14350㎡以上14400㎡未満、 14400㎡以上14450㎡未満、 14450㎡以上14500㎡未満、 14500㎡以上14550㎡未満、 14550㎡以上14600㎡未満、 14600㎡以上14650㎡未満、 14650㎡以上14700㎡未満、 14700㎡以上14750㎡未満、 14750㎡以上14800㎡未満、 14800㎡以上14850㎡未満、 14850㎡以上14900㎡未満、 14900㎡以上14950㎡未満、 14950㎡以上15000㎡未満、 15000㎡以上15050㎡未満、 15050㎡以上15100㎡未満、 15100㎡以上15150㎡未満、 15150㎡以上15200㎡未満、 15200㎡以上15250㎡未満、 15250㎡以上15300㎡未満、 15300㎡以上15350㎡未満、 15350㎡以上15400㎡未満、 15400㎡以上15450㎡未満、 15450㎡以上15500㎡未満、 15500㎡以上15550㎡未満、 15550㎡以上15600㎡未満、 15600㎡以上15650㎡未満、 15650㎡以上15700㎡未満、 15700㎡以上15750㎡未満、 15750㎡以上15800㎡未満、 15800㎡以上15850㎡未満、 15850㎡以上15900㎡未満、 15900㎡以上15950㎡未満、 15950㎡以上16000㎡未満、 16000㎡以上16050㎡未満、 16050㎡以上16100㎡未満、 16100㎡以上16150㎡未満、 16150㎡以上16200㎡未満、 16200㎡以上16250㎡未満、 16250㎡以上16300㎡未満、 16300㎡以上16350㎡未満、 16350㎡以上16400㎡未満、 16400㎡以上16450㎡未満、 16450㎡以上16500㎡未満、 16500㎡以上16550㎡未満、 16550㎡以上16600㎡未満、 16600㎡以上16650㎡未満、 16650㎡以上16700㎡未満、 16700㎡以上16750㎡未満、 16750㎡以上16800㎡未満、 16800㎡以上16850㎡未満、 16850㎡以上16900㎡未満、 16900㎡以上16950㎡未満、 16950㎡以上17000㎡未満、 17000㎡以上17050㎡未満、 17050㎡以上17100㎡未満、 17100㎡以上17150㎡未満、 17150㎡以上17200㎡未満、 17200㎡以上17250㎡未満、 17250㎡以上17300㎡未満、 17300㎡以上17350㎡未満、 17350㎡以上17400㎡未満、 17400㎡以上17450㎡未満、 17450㎡以上17500㎡未満、 17500㎡以上17550㎡未満、 17550㎡以上17600㎡未満、 17600㎡以上17650㎡未満、 17650㎡以上17700㎡未満、 17700㎡以上17750㎡未満、 17750㎡以上17800㎡未満、 17800㎡以上17850㎡未満、 17850㎡以上17900㎡未満、 17900㎡以上17950㎡未満、 17950㎡以上18000㎡未満、 18000㎡以上18050㎡未満、 18050㎡以上18100㎡未満、 18100㎡以上18150㎡未満、 18150㎡以上18200㎡未満、 18200㎡以上18250㎡未満、 18250㎡以上18300㎡未満、 18300㎡以上18350㎡未満、 18350㎡以上18400㎡未満、 18400㎡以上18450㎡未満、 18450㎡以上18500㎡未満、 18500㎡以上18550㎡未満、 18550㎡以上18600㎡未満、 18600㎡以上18650㎡未満、 18650㎡以上18700㎡未満、 18700㎡以上18750㎡未満、 18750㎡以上18800㎡未満、 18800㎡以上18850㎡未満、 18850㎡以上18900㎡未満、 18900㎡以上18950㎡未満、 18950㎡以上19000㎡未満、 19000㎡以上19050㎡未満、 19050㎡以上19100㎡未満、 19100㎡以上19150㎡未満、 19150㎡以上19200㎡未満、 19200㎡以上19250㎡未満、 19250㎡以上19300㎡未満、 19300㎡以上19350㎡未満、 19350㎡以上19400㎡未満、 19400㎡以上19450㎡未満、 19450㎡以上19500㎡未満、 19500㎡以上19550㎡未満、 19550㎡以上19600㎡未満、 19600㎡以上19650㎡未満、 19650㎡以上19700㎡未満、 19700㎡以上19750㎡未満、 19750㎡以上19800㎡未満、 19800㎡以上19850㎡未満、 19850㎡以上19900㎡未満、 19900㎡以上19950㎡未満、 19950㎡以上20000㎡未満、 20000㎡以上20050㎡未満、 20050㎡以上20100㎡未満、 20100㎡以上20150㎡未満、 20150㎡以上20200㎡未満、 20200㎡以上20250㎡未満、 20250㎡以上20300㎡未満、 20300㎡以上20350㎡未満、 20350㎡以上20400㎡未満、 20400㎡以上20450㎡未満、 20450㎡以上20500㎡未満、 20500㎡以上20550㎡未満、 20550㎡以上20600㎡未満、 20600㎡以上20650㎡未満、 20650㎡以上20700㎡未満、 20700㎡以上20750㎡未満、 20750㎡以上20800㎡未満、 20800㎡以上20850㎡未満、 20850㎡以上20900㎡未満、 20900㎡以上20950㎡未満、 20950㎡以上21000㎡未満、 21000㎡以上21050㎡未満、 21050㎡以上21100㎡未満、 21100㎡以上21150㎡未満、 21150㎡以上21200㎡未満、 21200㎡以上21250㎡未満、 21250㎡以上21300㎡未満、 21300㎡以上21350㎡未満、 21350㎡以上21400㎡未満、 21400㎡以上21450㎡未満、 21450㎡以上21500㎡未満、 21500㎡以上21550㎡未満、 21550㎡以上21600㎡未満、 21600㎡以上21650㎡未満、 21650㎡以上21700㎡未満、 21700㎡以上21750㎡未満、 21750㎡以上21800㎡未満、 21800㎡以上21850㎡未満、 21850㎡以上21900㎡未満、 21900㎡以上21950㎡未満、 21950㎡以上22000㎡未満、 22000㎡以上22050㎡未満、 22050㎡以上22100㎡未満、 22100㎡以上22150㎡未満、 22150㎡以上22200㎡未満、 22200㎡以上22250㎡未満、 22250㎡以上22300㎡未満、 22300㎡以上22350㎡未満、 22350㎡以上22400㎡未満、 22400㎡以上22450㎡未満、 22450㎡以上22500㎡未満、 22500㎡以上22550㎡未満、 22550㎡以上22600㎡未満、 22600㎡以上22650㎡未満、 22650㎡以上22700㎡未満、 22700㎡以上22750㎡未満、 22750㎡以上22800㎡未満、 22800㎡以上22850㎡未満、 22850㎡以上22900㎡未満、 22900㎡以上22950㎡未満、 22950㎡以上23000㎡未満、 23000㎡以上23050㎡未満、 23050㎡以上23100㎡未満、 23100㎡以上23150㎡未満、 23150㎡以上23200㎡未満、 23200㎡以上23250㎡未満、 23250㎡以上23300㎡未満、 23300㎡以上23350㎡未満、 23350㎡以上23400㎡未満、 23400㎡以上23450㎡未満、 23450㎡以上23500㎡未満、 23500㎡以上23550㎡未満、 23550㎡以上23600㎡未満、 23600㎡以上23650㎡未満、 23650㎡以上23700㎡未満、 23700㎡以上23750㎡未満、 23750㎡以上23800㎡未満、 23800㎡以上23850㎡未満、 23850㎡以上23900㎡未満、 23900㎡以上23950㎡未満、 23950㎡以上24000㎡未満、 24000㎡以上24050㎡未満、 24050㎡以上24100㎡未満、 24100㎡以上24150㎡未満、 24150㎡以上24200㎡未満、 24200㎡以上24250㎡未満、 24250㎡以上24300㎡未満、 24300㎡以上24350㎡未満、 24350㎡以上24400㎡未満、 24400㎡以上24450㎡未満、 24450㎡以上24500㎡未満、 24500㎡以上24550㎡未満、 24550㎡以上24600㎡未満、 24600㎡以上24650㎡未満、 24650㎡以上24700㎡未満、 24700㎡以上24750㎡未満、 24750㎡以上24800㎡未満、 24800㎡以上24850㎡未満、 24850㎡以上24900㎡未満、 24900㎡以上24950㎡未満、 24950㎡以上25000㎡未満、 25000㎡以上25050㎡未満、 25050㎡以上25100㎡未満、 25100㎡以上25150㎡未満、 25150㎡以上25200㎡未満、 25200㎡以上25250㎡未満、 25250㎡以上25300㎡未満、 25300㎡以上25350㎡未満、 25350㎡以上25400㎡未満、 25400㎡以上25450㎡未満、 25450㎡以上25500㎡未満、 25500㎡以上25550㎡未満、 25550㎡以上25600㎡未満、 25600㎡以上25650㎡未満、 25650㎡以上25700㎡未満、 25700㎡以上25750㎡未満、 25750㎡以上25800㎡未満、 25800㎡以上25850㎡未満、 25850㎡以上25900㎡未満、 25900㎡以上25950㎡未満、 25950㎡以上26000㎡未満、 26000㎡以上26050㎡未満、 26050㎡以上26100㎡未満、 26100㎡以上26150㎡未満、 26150㎡以上26200㎡未満、 26200㎡以上26250㎡未満、 26250㎡以上26300㎡未満、 26300㎡以上26350㎡未満、 26350㎡以上26400㎡未満、 26400㎡以上26450㎡未満、 26450㎡以上26500㎡未満、 26500㎡以上26550㎡未満、 26550㎡以上26600㎡未満、 26600㎡以上26650㎡未満、 26650㎡以上26700㎡未満、 26700㎡以上26750㎡未満、 26750㎡以上26800㎡未満、 26800㎡以上26850㎡未満、 26850㎡以上26900㎡未満、 26900㎡以上26950㎡未満、 26950㎡以上27000㎡未満、 27000㎡以上27050㎡未満、 27050㎡以上27100㎡未満、 27100㎡以上27150㎡未満、 27150㎡以上27200㎡未満、 27200㎡以上27250㎡未満、 27250㎡以上27300㎡未満、 27300㎡以上27350㎡未満、 27350㎡以上27400㎡未満、 27400㎡以上27450㎡未満、 27450㎡以上27500㎡未満、 27500㎡以上27550㎡未満、 27550㎡以上27600㎡未満、 27600㎡以上27650㎡未満、 27650㎡以上27700㎡未満、 27700㎡以上27750㎡未満、 27750㎡以上27800㎡未満、 27800㎡以上27850㎡未満、 27850㎡以上27900㎡未満、 27900㎡以上27950㎡未満、 27950㎡以上28000㎡未満、 28000㎡以上28050㎡未満、 28050㎡以上28100㎡未満、 28100㎡以上28150㎡未満、 28150㎡以上28200㎡未満、 28200㎡以上28250㎡未満、 28250㎡以上28300㎡未満、 28300㎡以上28350㎡未満、 28350㎡以上28400㎡未満、 28400㎡以上28450㎡未満、 28450㎡以上28500㎡未満、 28500㎡以上28550㎡未満、 28550㎡以上28600㎡未満、 28600㎡以上28650㎡未満、 28650㎡以上28700㎡未満、 28700㎡以上28750㎡未満、 28750㎡以上28800㎡未満、 28800㎡以上28850㎡未満、 28850㎡以上28900㎡未満、 28900㎡以上28950㎡未満、 28950㎡以上29000㎡未満、 29000㎡以上29050㎡未満、 29050㎡以上29100㎡未満、 29100㎡以上29150㎡未満、 29150㎡以上29200㎡未満、 29200㎡以上29250㎡未満、 29250㎡以上29300㎡未満、 29300㎡以上29350㎡未満、 29350㎡以上29400㎡未満、 29400㎡以上29450㎡未満、 29450㎡以上29500㎡未満、 29500㎡以上29550㎡未満、 29550㎡以上29600㎡未満、 29600㎡以上29650㎡未満、 29650㎡以上29700㎡未満、 29700㎡以上29750㎡未満、 29750㎡以上29800㎡未満、 29800㎡以上29850㎡未満、 29850㎡以上29900㎡未満、 29900㎡以上29950㎡未満、 29950㎡以上30000㎡未満、 30000㎡以上30050㎡未満、 30050㎡以上30100㎡未満、 30100㎡以上30150㎡未満、 30150㎡以上30200㎡未満、 30200㎡以上30250㎡未満、 30250㎡以上30300㎡未満、 30300㎡以上30350㎡未満、 30350㎡以上30400㎡未満、 30400㎡以上30450㎡未満、 30450㎡以上30500㎡未満、 30500㎡以上30550㎡未満、 30550㎡以上30600㎡未満、 30600㎡以上30650㎡未満、 30650㎡以上30700㎡未満、 30700㎡以上30750㎡未満、 30750㎡以上30800㎡未満、 30800㎡以上30850㎡未満、 30850㎡以上30900㎡未満、 30900㎡以上30950㎡未満、 30950㎡以上31000㎡未満、 31000㎡以上31050㎡未満、 31050㎡以上31100㎡未満、 31100㎡以上31150㎡未満、 31150㎡以上31200㎡未満、 31200㎡以上31250㎡未満、 31250㎡以上31300㎡未満、 31300㎡以上31350㎡未満、 31350㎡以上31400㎡未満、 31400㎡以上31450㎡未満、 31450㎡以上31500㎡未満、 31500㎡以上31550㎡未満、 31550㎡以上31600㎡未満、 31600㎡以上31650㎡未満、 31650㎡以上31700㎡未満、 31700㎡以上31750㎡未満、 31750㎡以上31800㎡未満、 31800㎡以上31850㎡未満、 31850㎡以上31900㎡未満、 31900㎡以上31950㎡未満、 31950㎡以上32000㎡未満、 32000㎡以上32050㎡未満、 32050㎡以上32100㎡未満、 32100㎡以上32150㎡未満、 32150㎡以上32200㎡未満、 32200㎡以上32250㎡未満、 32250㎡以上32300㎡未満、 32300㎡以上32350㎡未満、 32350㎡以上32400㎡未満、 32400㎡以上32450㎡未満、 32450㎡以上32500㎡未満、 32500㎡以上32550㎡未満、 32550㎡以上32600㎡未満、 32600㎡以上32650㎡未満、 32650㎡以上32700㎡未満、 32700㎡以上32750㎡未満、 32750㎡以上32800㎡未満、 32800㎡以上32850㎡未満、 32850㎡以上32900㎡未満、 32900㎡以上32950㎡未満、 32950㎡以上33000㎡未満、 33000㎡以上33050㎡未満、 33050㎡以上33100㎡未満、 33100㎡以上33150㎡未満、 33150㎡以上33200㎡未満、 33200㎡以上33250㎡未満、 33250㎡以上33300㎡未満、 33300㎡以上33350㎡未満、 33350㎡以上33400㎡未満、 33400㎡以上33450㎡未満、 33450㎡以上33500㎡未満、 33500㎡以上33550㎡未満、 33550㎡以上33600㎡未満、 33600㎡以上33650㎡未満、 33650㎡以上33700㎡未満、 33700㎡以上33750㎡未満、 33750㎡以上33800㎡未満、 33800㎡以上33850㎡未満、

工程管理を中心に行なわれているのが現状である。

表-4.27に各庁、各公団の品質管理基準を示す。

4.2.4 現状の問題点

コンクリートの良し悪しは、目で見てわかるものでなく、所定の強度が出るまでには長い時間がかかる。又、所定の強度が出ないからといっても、簡単にやり直されるものでもないことから、施工者は、良質なコンクリートを施工するための努力が払われている実態が、土木研究所で実施された“コンクリート構造物の施工実態”で報告されている。一方“コンクリート工損傷事例調査”（土木研究所、財国土開発技術センター、(社)日本土木工業協会）の中で一般構造物32例の考えられる損傷の原因について見ると締固め不良14件、その他施工不良8件があり、コンクリートの施工不良が損傷の原因となったものが22件で約70%と多く発生している。

(1) 施工管理基準の問題

今回調査された、施工管理基準を表-4.27に見ると、打設前にスランプ及び空気量の測定を行うのが一般的であり、特異なケースとして、洗い分析やコンクリートの温度が測られている。

打設後においては、標準養生された供試体の材令28日強度が測られているが、これらは、納入された生コンクリートが製品の品質を左右する重要な要素である材料として十分であるという証明となる。

型枠内に打込まれたコンクリートが構造物として、正常な働きをさせるためには、均質で所要の強度を有し、密実で耐久性のあるコンクリートを造ることである。

配合設計や試験練で決められた、性質を基に製造されたコンクリートをその性質が十分発揮される様、取扱いに注意し、適度な締固めと、十分な養生が不可欠であるが、打設されたコンクリートの良否は、施工にも大きく支配されるにもかかわらず、打込み方法、締固めや、養生については、抽象的な表現があるのみで、施工者の経験的判断にゆだねられているため、いきおい必要以上に慎重に施工がなされたりといったものも見られる反面、ゆだんによるジャンカの発生も一部に見られる。

(2) 施工実態の問題

i) スランプ

スランプは、工事の仕様から見ると、 8 ± 2 cm以下が望まれているのに対し、施工者はポンプ施工や締固めのしやすいスランプを 12 ± 2 cmと認識している。又、現場に到着したスランプが仕様より異なったものの処理について見ると、60~80%の割合で打設されることから考えると仕様より軟かいコンクリートが打設されることもあり、施工面からのバックアップも望まれる。

ii) 打設方法

強度管理は、標準養生された、供試体の材令28日強度で間接的に行うことが、原則となっている。これは、施工が適切であるという前提で成り立っているものであるところから、施工の実態調査において問題としてあげられた点は次の通りである。

1) 打設使用機械	ポンプ使用	70%
2) 一層の敷均し厚	50cm以上及び考えないを合せて	26%
3) 型枠内でコンクリートを移動させる		22%
4) 振動機の加振時間	無回答（注意が払われていない）	70%
5) 振動機の挿入間隔	60cm以上及び考えないを合わせて	30%
6) 締固め終了の判断	経験による	75%
7) ブリージングの処理	処理しない	30%

生コン会社やポンプ車の普及により同時に大量のコンクリートが施工されることから、一般に言われている良いコンクリート工の施工法が執られていない実態がある。締固める作業が、敷均し作業になりがちであり、調査結果にも、コンクリートの移動や振動機の加振時間がわからない点に表われている。

又、特に問題となるのは、締固めが重要であるにもかかわらず振動機の加振時間に注意が払われていない点と、締固め終了の判断が経験によっている点である。

iii) 作業指揮者および作業員の知識

土木研究所の調査報告の中で、施工者のコンクリートに対する知識や能力について見ると“普通”と答えられたものが70%ある。又、改善意見の中では、優秀な作業員の確保や教育が必要とされることがや前記の施工実態の問題点から判断すれば、“普通”ではあっても、施工時の管理が作業員の判断にゆだねられている部分が多いことから管理の定量化がなされていない現状ではより高度のレベルが望まれて

いることがわかる。

iv) 養生について見ればその75%がシート養生であり、散水養生が行なわれているものは17%に過ぎず、高温時等には特に注意が要求されよう。

(3) その他の問題

土木研究所の調査報告の中で発注者に要望された内容についてみると、密度なコンクリートを施工するために、部機の形状、鉄筋量、鉄筋間隔等、施工面を考慮した設計や構造物の形状、手法に適合した配合スランプ等がある。

(4) まとめ

以上のことから機械化施工の合理化に向けて見直すべき項目をまとめれば次の通りである。

- i) 現状の施工管理基準には、型枠内に打込まれる時のコンクリートの施工管理は、出来上ったコンクリートの品質を左右する重要なものであるにもかかわらず、定量的な管理手法がなく、施工者の判断にゆだねられている。
- ii) スランプについては、仕様は、 8 ± 2 cm以下が望ましいが、施工者はポンプ施工面から軟かめ生コンクリートとなる傾向がある。
- iii) 一般にいわれている良好なコンクリートを得るための施工法を十分満足するためは、慎重な施工が必要であること。
- iv) コンクリート施工の指揮者や作業員の知識や能力が出来上がった構造物の品質を左右するので、より高い資質が求められていること。
- v) 施工を考慮した設計についても一考が必要である。

4.2.5 施工管理の合理化に向けて

打込まれたコンクリートの品質をだれでもが容易に確保できるためには、打込み、締固め、養生等の施工時における施工管理に対して、定量的な管理手法を確立する必要がある。

現在、建設省及び生コンクリート業界等において、コンクリートの品質向上を目指して精力的に研究に取り組まれているが、その他、施工管理に関する主なものは、

- (1) クローズドフォームによる、コンクリート強度の即時判定法の研究
- (2) 非破壊試験による強度推定のための研究
- (3) 早期強度判定方式に関する研究開発
- (4) シュミットハンマー反発硬度と超音波パルスによるコンクリート強度との相関に関する研究
- (5) 型枠内の残水がコンクリートに及ぼす影響
- (6) 寒冷地に打設されたコンクリートにおける各種強度差及び発現状況
- (7) 養生条件の相違による強度の年間変動
- (8) スランプ自動測定器の開発研究
- (9) 骨材表面水率連続測定システム
- (10) 簡易遠心脱水機を利用した骨材水準測定

などがある。コンクリートの最終的な合否判定は、材令28日でなされるためその時点では、工事は次の

工程に進んでいる生コン特有の問題を解決する手段の一つとしてフレッシュコンクリートの品質の的確な把握方法の改善とともに施工法の改良（振動機の改良、締固めない判定方法の確立等）や非破壊によるコンクリート強度の即時又は早期判定法を見出すことにより、測定に基づいた定量施工管理への道が開けるもので、今後残された技術的な大きな課題である。

4.3 舗装工における施工管理について

4.3.1 施工法の実態

我が国におけるアスファルト舗装の施工方法の大きな進展は、昭和30年代後半から始まったといえる。その要因は、施工機械、とりわけアスファルトフィニッシャの発展と名神高速道路を始めとする高速道路の建設促進にあると考えられる。

アスファルトフィニッシャは昭和初期、フローティングスクリッドを装備した舗装巾3～4、2mの機械が米国で開発された。この機種が昭和28年我が国に輸入され、その使用実績により舗装の機械化施工に関する認識が高まり、昭和31年、舗装巾1.8～2.8mの機械が国内の技術で実用化された。

その後、舗装工事の進展とともに、アスファルトフィニッシャに対する関心が高まり、昭和35年頃より国内で本格的な製造が開始され、今日に至っている。

当初は舗装巾2.4～3.6m級が主であったが、昭和34年頃から輸入機をモデルに2.4～4.5m級が国内の技術で開発され、舗装工事の増大にともない急速に波及し、今日の主力となっている。

また、昭和35年から始まった名神高速道路から東名、中央高速道路など大規模工事が施工されるようになった昭和47年に舗装巾3～12m級の超大型機械が輸入され、この機械の使用実績にもとづいて3～9m級が国内で製作されるようになって、特に大規模工事における機械施工のパターンがほぼ確立されたといえる。

一方、市町村道、歩道などの狭巾員道路の舗装工事も増加し、最近の傾向として、中間機種の改良が進められると同時に、超大型機から超小型機械に至る幅広い機械構成となっている。

舗装工事は、事前の準備から始まって、路盤工（下層路盤、上層路盤）、基層、表層へと進む工程であるが、それぞれの工程における施工実態を主として新設工事を中心に述べると概略次のとおりである。

(1) 路盤準備工

アスファルト舗装工は一般に、表層、基層、路盤から構成され路床は含まないが、路床上に舗装は直接に施工されることから、路盤工に先立って行う路床に関する土工以外の工種を路盤準備工としてここに挙げた。

路盤準備工は、仕上げ高さの調整、支持力のチェック、不陸整正、不良ヶ所の発見とその処置などである。仕上げ高さの調整は、路床面を約10cm深さまでグレーダによりかき起こし、路床沈下その他の原因によって計画高さに合格しない路床の不陸整正を行ったり、材料の入替えや補充を行って所定の縦横断形状に修復される。

不良ヶ所の発見には、面的に均一性をチェックできるプルーフローリングが一般に実施される。

プルーフローリングは、施工時に用いた転圧機械と同等以上の締固め効果を有するタイヤローラ、ロードローラ等を用いて締固め終了面上を走行させ、その時の沈下量を観察するもので、目視により行われるが、たわみ量の大きい範囲はベンゲルマンビームによって実際のたわみ量の測定が行われる。

(2) 路盤工

路盤は、表層と基層からの荷重を支持し、分散して路床に伝達する役割をもっており、上層路盤と下層路盤により構成されている。

(a) 下層路盤

下層路盤は、一般に施工現場付近で経済的に入手できる材料、たとえばクラッシャーラン、スラグ、山砂利、砂あるいは切込砂利などが用いられ、下層路盤材料としての規格に入らない場合には、粒度を調整するなり安定処理を行って使用している。

路盤材料の混合方式には、一般に路上混合と中央プラント混合の2つの方式があり、工事の規模や現場の条件などによってどの方式にするかが決定される。通常大規模工事は中央プラント方式が採用されているが、現道の土砂が比較的良質な小規模工事では、経済性からスタビライザによる路上混合方式も採用されている。

敷ならしは、アグリゲートスプレッダ、モータグレーダやブルドーザなどを用いて一層の仕上り厚さが20cm以下となるよう施工している。

下層路盤における安定処理工法は、セメント又は石灰による安定処理が一般的である。

締固めは、一般に10 t以上のマカダムローラあるいは8～15 tのタイヤローラを用いるが、転圧効率のよい大形の振動ローラを用いる場合もある。

(b) 上層路盤

上層路盤は、表層などへの影響が大きいことから、下層路盤に比べて材料的にも施工的にもより厳密であることが要求されるため、材料規格も中央プラントで広い意味での安定処理を施した製品を現場に搬入し、施工することが基本となっている。

その工法には、粒度調整工法、歴青安定処理工法、セメント安定処理工法などがあるが、最近交通量の多い道路舗装では一般に、下層路盤では粒調によるものや現地材を石灰やセメントで安定処理したものを、上層路盤では粒調材料をアスファルトで処理した加熱混合物が多く使用されている。

路盤材の製造は中央プラントにおいて行うが、そのプラントは粒度調整碎石と歴青安定処理混合物とに大別されて異なっている。また、粒度調整碎石とセメント（又は石灰）安定処理混合物とで異なる場合も多く、歴青安定処理混合物でも常温と加熱による混合物とでは異なることもある。

しかし、いずれのプラントにあっても各構成材料を計量して配合し、適切な混合がなされ均一性を持った混合物となるよう管理されている。

混合方式にはバッチ式と連続式があるが、我が国では混合物の配合切換えが容易なバッチ式プラントが主である。

また、加熱式アスファルト安定処理工法における混合は、アスファルトプラントで行われるが、このプラントは基層及び表層混合物との併用で使われるのが一般的である。

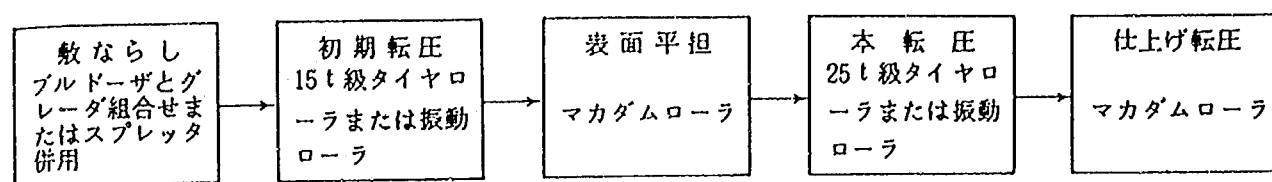
敷ならしは、粒度調整工法の場合、一層の仕上り厚さが15cm以下、セメント（又は石灰）安定処理法の場合は10～20cm厚さにアグリゲートスプレッダ、モータグレーダ等で行い、歴青系ではアスファルトフィニッシャを用いて行うが、一層の仕上り厚さを10cm以下で行う方法とそれ以上の厚さ（シックリフト工法と呼ばれる）で行う工法があるが一般的には前者である。

また、最近では平坦性を確保するうえで、モータグレーダの運転には高度の技術を要することから粒度調整工法等においても、アスファルトフィニッシャを用いる例もある。

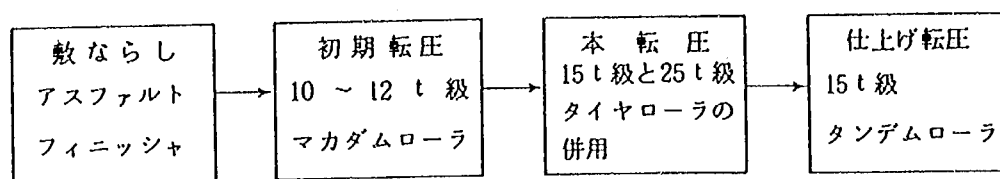
転圧は一般に10 t以上のマカダムローラ、あるいは、8～15 tのタイヤローラを用いるが、大規模工

事においては本転圧に25 t級タイヤローラ又は大形の振動ローラも用いられている。

図－4.15及び図－4.16に大規模工事の場合の転圧順序の一般的パターンを示す。



図－4.15 粒度調整路盤等の転圧パターン



図－4.16 加熱アスファルト安定処理の転圧パターン

(3) 表層及び基層

表層及び基層は、交通荷重や気象作用を強く受ける部分である。材料としては加熱アスファルト混合物、すなわちアスファルトコンクリート（以下、アスコンと略称する）を用いるが、その地域の気象条件あるいは目的の付加によって多種類におよんでいる。

このアスコンは、混合所であるプラントで配合設計に基づいて製造される。

プラントは本来工事現場近くに設置し、工事ごとに移設する仮設的な機械であるが、近年舗装工事が全国的に普遍化していること、及び環境問題その他種々の規制対策上定置化が進み、移設するのは高速自動車道の建設など特定の大型工事等に限られるようになった。

また、プラントはバッチ式が一般に用いられており、最近では基本的な構造に変化は見られないが、コンピュータによる自動運転、遠隔操作、テレビ、各種センサによる監視装置、アスコンを長期間保存するためのストレージサイロ、故障の予知装置等が装備され、ほぼ無人化された合材工場が出現している。

プラントで製造されたアスコンはダンプトラックで舗設現場へ運搬される。ダンプトラックは8～11 t積が使用され、保温のためや異物の混入を防ぐためシート等で保護している。

舗設はアスコンも現場において敷ならし、これを締固めるわけであるが、これを行うための準備として舗設する下面となる路盤面あるいは基層面を清掃し、また不陸などを直してタックコートを施す。

敷ならしはアスファルトフィニッシャで行うが、一般に車道部では、4～4.5m級を、歩道部では1.6～2.8m級が使用されている。しかし、高速道路やバイパス等広巾員道路の舗設では、平坦性向上や供用後のクラックの発生防止等から大型機械による全巾同時施工や2台機械を用いたホットジョイント施

工が行われている。

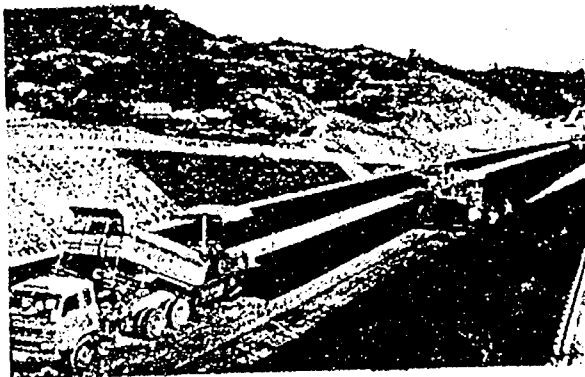


写真-4.1 ホットジョイントによる
基層の施工状況

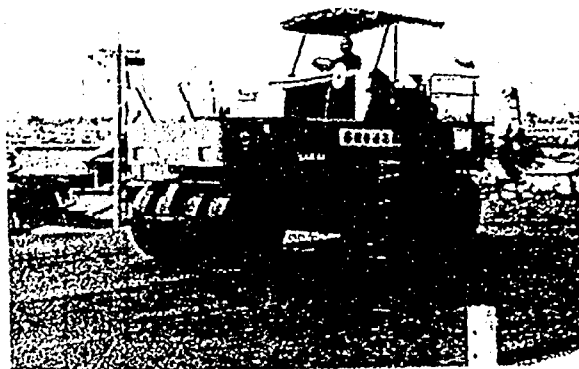


写真-4.2 タイヤローラによる
2次転圧状況

また、最近は途中構造物等による巾員の変化に対応しやすい伸縮式スクリートを装備した機械が普及し施工の合理化が図られている。

締固めは、鉄輪ローラとタイヤローラが用いられる。初転圧は8 t程度の鉄輪ローラ（タンデムローラ又はマカダムローラ）を使用し、2次転圧は15 t以上のタイヤローラを使用するのが一般的であるが、振動ローラを用いる例もある。

また、仕上転圧は鉄輪ローラ（タンデムローラ又はマカダムローラ）が用いられ、大規模工事がかつ平坦性を重視するところでは3軸のダンデムローラが用いられている。

4.3.2 施工管理の実態

舗装を施工するにあたっては、材料をはじめ各工種において目標値を定め、これとのバラツキが小さくなるよう管理することが最も合理的であり経済的となる。そのための基本的な注意事項は、材料の均一化、作業手段の標準化、そして異常事態の早期発見、さらには修正のための施工方法の採用である。

品質の管理手段は施工者が行うものであるが、追って行われる検査のための項目は採用しておくのが普通である。品質管理項目及び実施状況の各地建等における実例を示すと表-4.28のとおりである。

一方完成した舗装の形状、すなわち出来形が検査に合格するよう行う管理が出来形管理である。

表-4.29に出来形管理の各地建等の実施例を示す。

そのほか施工管理には、施工計画に基づいて最も合理的で経済的な工程を決定し統制する工程管理がある。

舗装工事は、工場製品のような一般的商品と異なって、その時のそれぞれの現場の条件に合致した独自の製品を作る作業である。

したがって、いろいろな材料をその時の状況に応じて規定を満足する適切なものを造りあげていくには施工者及び監督者の経験と技術力に負うところが大きい。

良い品質、出来形を得るため施工上特に注意している事項を挙げると以下のとおりである。

(1) 路盤上の出来、不出来が基層及び表層に与える影響が大きく、入念な仕上げが必要である。

表-4.28 アスファルト舗装工の施工上品質管理実態(その1)

工 又 種	程 は 別	区 分	品質管理(試験)項目	実 施 目 的	実施の 程 度	実 施 頻 度	
路 盤 工	下 層	材 料	修正 CBR 試験	路盤材料(40mm以下)の強さの判定	必須	当初及び材料の変化時	
			0.4mmふるい通過分のPI測定	路盤材料の良否の判定	"		
			突固め試験	締固め時の最適含水比の範囲を決定	"		
			ふるい分け試験	最大粒径及び合成粒度の決定等	"		
			骨材のすりへり試験	骨材の硬さ、強靱性より適否の判定			
			骨材の比重及び吸水率試験	配合設計の最大理論密度及び比重の選定			
			骨材の安定性試験	骨材の耐久性(気象作用に対する抵抗)の判定			
		施 工	締固め密度の測定	路盤の締固め度及び均一性の判定	必須	2回/1,000 m ² 程度 但し、1,000 m ² 未満は1回	
			ブルーフローリング	路盤の締固め状況、支持力の均一性等の判定	"	全巾、全区間	
			平板載荷試験	路盤面の支持力係数より締固めを管理		2回/1,000 m ² 程度	
			ふるい分け試験	最大粒径及び合成粒度の管理		随 時	
	上 層	材 料	修正 CBR 試験	路盤材料(40mm以下)の強さの判定	必須	当初及び材料の変化時	
			0.4mmふるい通過部分のPI測定	路盤材料の良否の判定	"		
			突固め試験	締固め時の最適含水比の範囲を決定	"		
			ふるい分け試験	最大粒径及び合成粒度の決定等	"		
			骨材のすりへり試験	骨材の硬さ、強靱性より適否の判定			
			骨材の比重及び吸水率試験	配合設計の最大理論密度及び比重の選定			
		施 工	締固め密度の測定	路盤の締固め度及び均一性の判定	必須	1回/1,000 m ² ~ 2回/1,000 m ² 但し、1,000 m ² 未満は1回	
			ふるい分け試験	最大粒径及び合成粒度の管理	"		
			平板載荷試験	路盤面の支持力係数より締固めを管理		1回/1,000 m ²	
		セ メ ン ト 安 定 処 理 路 盤	材料	配合試験	最適含水比、最適セメント量の決定	必須	配合ごと
			施 工	混合物の粒度試験	最大粒径及び合成粒度の管理	"	1回/日
				締固め密度の測定	路盤の締固め度及び均一性の判定	"	1回/1,000 m ²
				含水量試験	最適含水量の管理		当初及び材料の変化時
				セメント量試験	最適セメント量の管理		1回/日
底層安定処理路盤			(表 層 及 び 基 層 に 準 ず る)				

表-4.28 アスファルト舗装工の施工上品質管理実態(その2)

工程は別 又種別	区分	品質管理(試験)項目	実施目的	実施の 程度	実施頻度
表 層 及 び 基 層	材	単位容積重量試験	配合設計又は重量換算に用いる	必須	当初及び変動がある時
		比重・吸水量試験	配合設計の最大理論密度及び比重の選定	"	
		ふるい分け試験	最大粒径及び配合設計に用いる	"	
		すりへり試験	硬さ、強靱性より適否の判定		
		安定性試験	骨材の耐久性に対する強さの判定		
		骨材中の軟石量試験	骨材の適否の判定		
	マ ス ト	粒 度 試 験	配合設計における合成粒度計算に用いる	必須	
	歴 青 材 料	針入度試験	アスファルトの硬さ及び種類を知る		当初及び製造工場又は規格の変化ごとに製造会社に提出させる
		軟化点試験	軟化する温度を知る		
		伸 度 試 験	アスファルトの伸びやすさ、骨材との接着の良否を知る		
		三塩化エタン可溶分試験	アスファルト中の不純物量を算出		
		引火点試験	安全に加熱できる温度の限界を知る		
		蒸発量試験	加熱及び混合による重量変化の程度を知る		
		比 重 試 験	配合試験及び混合物の空隙率、飽和度の計算に用いる		
		セイボルト粘度試験	温度と粘度の関係をj知る		
		乳 剤 試 験	混合物の付着性、蒸発残留分を知る		
	プ 合 及 ラ び 混 合 ン	配 合 試 験 (マーシャル安定度試験)	アスファルト量の決定	必須	配合ごとに1回
		混合物のアスファルト抽出試験	混合物の均一性確認	"	1日1回
		混合物の粒度分析試験	"	"	
		基準密度の決定	混合物の締固め管理の基準値の決定	"	当初の2日間午前、午後各1回3回
		ホイトラッキング試験	耐流動の評価を行う資料とする		
		ホットビンの骨材の合成粒度試験	均一な混合物及び材料の混合割合管理		1日1回
		アスファルトの加熱温度測定	アスファルトの高温による老化防止	必須	1時間ごと
	ト 加 熱	骨材の "	均一な温度の混合物製造のため	"	
		混合物の "	最適施工性の管理	"	
	舗 装	軟ならし時の温度測定	初標圧時期の判断	"	トラック1台ごと
		密度測定	締固め度の判定	"	1,000 mに1回の割合でコケ採取により行う。
		すべり抵抗試験	路面のすべり抵抗値判断	"	舗設車線ごと 200 mごとに1回

表-4.29 アスファルト舗装工の出来形管理の実態

工 種	管理項目	頻 度	実 施 方 法
下 層 路 盤	基準高	延長40mごと	道路中央線及びその端部でレベルにて測定
	巾	“	テープにより測定
	厚 さ	各車線 200 mごと	陥 起 して 実 測
粒 度 調 整 路 盤 及 び セメント安定処理路盤	巾	延長40mごと	テープにより測定
	厚 さ	各車線 200 mごと	陥 起 して 実 測
堅 固 安 定 処 理 路 盤 及 び 基 層	巾	延長40mごと	テープにより測定
	厚 さ	1,000 m ² ごと	コアーを採取してノギス等により実測
表 層	巾	延長40mごと	テープにより測定
	厚 さ	1,000 m ² ごと	コアーを採取してノギス等により実測
	平坦性	各車線全線	3 mプロファイルメータを用いて実測調査

そのためには、路盤材の敷ならしには不陸等がないよう十分注意するとともに、全巾同時に施工する。また、敷ならしの良否はモータグレーダのオペレータの技量によって左右されることから、大規模工事ではフィニッシャを用いることも多い。

(2) 一定品質の合材を供給するよう努力する。

各種センサによる監視装置やコンピュータにより自動運転が可能なアスファルトプラントが出現した現在では、入荷材の品質を一定に保つことが重要で、材料ストック量を増やすなど入荷ロットによる変動を少なくする。

(3) 合材の運搬は、保温及び異物の混入を防ぐため、シート等で保護するが、冬期の運搬で比較的時間を要する場合は特殊保温シートを使用する。

(4) 表層はできるだけ均一で平坦性の良い路面となるよう施工する。そのためには、① 大規模な広巾員道路では、大型フィニッシャやホットジョイント工法により全巾施工を行い縦継目を造らないよう配慮する。② フィニッシャの作業速度を一定に保ち停止させないよう合材の供給量を調整して連続舗設する。③ フィニッシャは全自動式を用い、センサーロープのチェックを十分に行って自動舗装とする。④ スクリードプレート of 摩耗やひずみに注意する。

(5) 舗設厚さの管理は、舗設に先立って行う型枠設置を入念な調整を行ったうえで十分固定することと、舗設中はダンプ1台当りの施工量を確認するとともにシックネスゲージにより随時確認しながら施工する。また、両端に構造物がある場合は目標の厚さを墨うちし舗設時にチェックする。

(6) 締固めでは、合材の温度が高過ぎるとヘアークラックの発生原因となり、低過ぎると密度不足の原因となるため、転圧開始時期を間違わないよう敷ならし後の温度管理に注意している。

また、締固めは十分に高い締固め度が得られるよう配慮している。

(7) 修繕工事においては、交通解放時に路面温度が高いとわだち掘れ等の原因となるので、交通解放時期の判断には十分注意が必要である。

4.3.3 現行の施工管理基準

各地方建設局、北海道開発局及び日本道路公団で実施している施工管理基準を調査した結果、各機関によって管理方法に多少の差があることなどから一律に比較はできないが、概ね、出来形管理基準は表

－4.30, 品質管理基準は表－4.31のとおりである。

表で示すとおり, 各機関が現在採用している管理限界はアスファルト舗装要綱 (6.4 出来形及び品質の管理) の値と比べ同じか又はきびしい値としている。

表－4.30 アスファルト舗装工の出来形管理基準の実態

工 種	項 目		管 理 基 準 (管理限界)	
			アスファルト舗装要綱	実 態
下 層 路 盤	基 準 高		± 40 mm	± 25 ～ ± 40 mm 以内
	厚 さ		- 45 mm	- 30 ～ - 45 mm
	巾		- 50 mm	- 30 ～ - 50 mm
粒 度 調 整 路 盤	厚 さ		- 25 mm	- 15 ～ - 25 mm
	巾		- 50 mm	- 30 ～ - 50 mm
セメント安定処理路盤	厚 さ		- 25 mm	- 15 ～ - 25 mm
	巾		- 50 mm	- 30 ～ - 50 mm
歴 青 安 定 処 理 路 盤	厚 さ		- 15 mm	- 10 ～ - 15 mm
	巾		- 50 mm	- 30 ～ - 50 mm
表 層 及 び 基 層	厚 さ	表 層	- 7 mm	- 4 ～ - 7 mm
		基 層	- 9 mm	- 6 ～ - 9 mm
	巾		- 25 mm	- 15 ～ - 25 mm
	平坦性	3 m プロフィールメータ	$\sigma = 2.4$ mm 以内	$\sigma = 1.6 \sim 2.4$ mm 以内
		直 続 式	-	$\sigma = 1.15 \sim 1.75$ mm 以内

表－4.31 アスファルト舗装要綱の品質管理基準の実態

工 程	項 目		管 理 基 準 (管理限界)	
			アスファルト舗装要綱	実 態
下 層 路 盤	締 固 め 度 (%)		93 %以上	93 ~ 95 %
粒 度 調 整 路 盤	締 固 め 度 (%)		93 %以上	93 ~ 95 %
	粒 度	2.5 mm ふ る い	± 15 %以内	± 10 ~ ± 15 %以内
	度	0.074 mm ふ る い	± 6 %以内	± 4 ~ ± 6 %以内
セメント安定処理路盤	締 固 め 度 (%)		93 %以上	93 ~ 95 %
	粒 度	2.5 mm ふ る い	± 15 %以内	± 10 ~ ± 15 %以内
	度	0.074 mm ふ る い	± 6 %以内	± 4 ~ ± 6 %以内
	セ メ ン ト 量 (%)		± 1.2 %以内	± 0.8 ~ ± 1.2 %以内
歴 青 安 定 処 理 路 盤	締 固 め 度 (%)		93 %以上	93 ~ 96 %以内
	粒 度	2.5 mm ふ る い	± 15 %以内	± 15 %以内程度
	度	0.074 mm ふ る い	± 6 %以内	± 6 %以内程度
	アスファルト量 (%)		± 1.2 %以内	± 1.2 %以内程度
表 層 及 び 基 層	締 固 め 度 (%)		94 %以上	94 ~ 97 %以上
	粒 度	2.5 mm ふ る い	± 15 %以内	± 12 ~ ± 15 %以内
	度	0.074 mm ふ る い	± 5 %以内	± 5 %以内程度
	アスファルト量 (%)		± 0.9 %以内	± 0.9 %以内程度

特に本表には示していないが, 出来形管理のうち巾については設計値以上としている機関もある。

また, 合材温度は, プラント185℃以下又は指定温度±25℃, 敷ならしが110℃以上又は指定温度±20℃程度を採用しているようである。

4.3.4 現状の問題点

アスファルト舗装工における施工技術の目指すところは、良質で安定した材料による、平坦で均一・高密度の舗装路盤の完成であり、これらの目標を満足させるべく、従来から施工機械等の研究、開発が進められた結果、現在では標準的で満足できるレベルの舗装を完成させるための技術的な問題点はほぼ解決されているという良いが、さらに精度の向上や省力化を目指して、いくつかの問題点が提起されたり、新しい試みがなされている。

(1) 下層及び上層路盤

路盤に用いられる材料は、下層に施工現場で経済的に入手できるクラッシャーラン等の材料を用い、上層では粒度調整碎石（セメント、石炭等の添加も含む）とアスファルトプラントで加熱混合されたアスファルト混合物が用いられるが、施工管理はアスファルト舗装要綱等に準じて行われているのが現状である。

施工管理の形態から見れば、アスファルト混合物合外の材料を用いた場合、クラッシャーラン等の骨材が主体となるため一般の土工に準じた施工管理となり、アスファルト混合物の場合は表層や基層と同じような施工管理になる。

新しい試みとしては、① 粒状材料の厚層締固め、② 歴青安定処理のシックリフト工法などが行われているが管理基準が確立されていないため、今後の課題となっている。

(2) 表層及び基層

表層、基層はアスファルト混合物が用いられるが、施工管理方法はアスファルト舗装要綱等で確立されており、それらに基づいて実施されている。

1) アスファルト混合物の製造

アスファルトプラントは集約化、大型化が進み、最近では自動制御装置、コンピュータコントロール、長期保存型合材サイロ等を導入し、自動運転と集中管理が普及してきている。

一方、品質管理は原料となるアスファルトや骨材、さらにはそれらの混合物について、表-1に示す内容で実施されておりすべて試験室等における室内試験となっているが、プラント等のハード面での進歩にもかかわらず効率化がなされておらず、次の問題点が指摘されている。

- ① プラントの性能が向上し、安定した混合物が生産されるのにもかかわらず、試験の項目や頻度の見直しが行われていない。
- ② 小規模工事では、試験結果をフィードバックして管理に反映させることが難しい。
- ③ 以上のことから、工事規模に応じた試験項目、頻度の見直しが必要で試験の迅速化が望まれる。

これらの問題に対して、一分ではソックスレー抽出試験の超音波利用による試験時間の短縮化や骨材粒度試験の一点管理法さらにはプラントの印字記録データによる管理試験の省略化などが試みられているが、一般化していないのが現状である。

2) アスファルト混合物の舗設

舗設現場における作業の工程を大きく分けると、第一にダンプトラックによりアスファルトプラントから搬入された混合物を、アスファルトフィニッシャーで敷均しを行う作業と第二にそれに引続いて敷均された混合物をローラで転圧・仕上げする作業に分けられる。

アスファルトフィニッシャによる敷均し作業の施工管理は、品質管理として温度、出来形管理として厚さ、平坦性がある。

a. アスファルトフィニッシャによる敷均し

混合物の温度測定は、現場に搬入されてきた混合物の温度が舗設に適した温度であるかどうかを、ダンプトラック1台毎に測定することから始まり、敷均し後の温度も次の作業であるローラ転圧適正温度になるまで一定時間毎に測定、チェックを行う。

温度測定には主に棒状の温度計が用いられるが、次の問題点が上げられる。

- ① 任意点の測定であり、全体の平均温度としてとらえているかどうか疑問がある。
- ② 施工中に行うため結構煩雑であり、施工に気を取られ忘れることもある。
- ③ プラント性能向上により、現場に搬入される混合物の性状が安定しているため、トラック1台毎の混合物温度の測定は省略できないか。
- ④ 測定方法に個人差が出やすい。

これらの問題点に対し、温度センサを利用して連続的に自動測定、記録、さらには現場のオペレータや作業者がリアルタイムでそれらのデータを知ることができるように、フィニッシャの機側等で表示を行うといった。温度管理のシステム化の検討も必要であろう。

厚さや平坦性の出来形はローラ転圧状況にもよるが、一般にフィニッシャの敷均し状況が大きな影響を及ぼす。フィニッシャの敷均し精度を大きく左右する要因としては、スクリードの位置調整が重要であるが、施工中は敷均し後の混合物の厚さをシックネスゲージで常に人間が測定し、そのデータをフィニッシャ側にフィードバックしてスクリードの位置調整を行っている。この調整が急激だったり、頻繁だったりすると厚さや平坦性の確保に悪影響を及ぼすため、この辺にオペレータの技量の差が大きく現れるといわれている。最近ではスクリードの位置を自動的に調整する装置が普及して一般化しているが、自動調整のための基準線が必要となり、基準線の精度そのものが厚さや平坦性に直接影響するため、その設置に手間がかかっているのが現状である。

その他、施工上の問題点として次に示す事項がある。

- ① ジョイント摺付部の施工精度の向上：ジョイント部は粗めの碎石が集中しやすく、高空隙になりやすいため入念な施工が行われているが、低密度になりがちで完成後路面損傷の原因となる。
- ② 路肩部逆折施工の効率化：積雪地においては曲線部における片勾配区間の路肩部は本線と逆勾配のケースが多く、別々に施工されているため効率化が望まれる。
- ③ 最大舗装厚の拡大：フィニッシャの性能向上により一層15cm程度まで舗設可能な機種もあるため、これらを採用すれば施工の効率化が期待できる。
- ④ 高密度型アスファルトフィニッシャの検討：最近では高密度締固め型のアスファルトフィニッシャが普及しはじめ、中には95%程度の密度が得られる機種もあることから、転圧作業の効率化も含め検討する必要がある。

b. ローラによる転圧

ローラ転圧時の施工管理としては転圧時の温度と転圧後の密度が上げられる。

温度の測定方法や、それに伴う問題点としては、前述アスファルトフィニッシャと同様であるが、特に

転圧の開始温度が完成後の舗装盤の品質に大きな影響を与えるため、温度の管理は重要となる。

密度については、舗装完了後のコア試験が原則になるため、施工者は施工中に正確な密度を知ることが不可能であり、ローラの転圧回数や転圧面を目視して基準密度に達したかどうかを判断している。しかし、締固め密度は転圧時の温度や混合物の種類によっても異なるため、この辺は施工者のノウハウや勘によるものとなっている。

施工中に密度を即時的に計測する方法としては、R I 計器を用いる方法があり、外国では一部それに基づいた施工管理も実施されている例もあるが、わが国ではまだ試験段階の域を出ていないのが現状であり、将来的にはこれらの検討も必要であると思われる。

密度に関しての施工管理上の問題点として次のことがあげられる。

- ① 事後管理となるため、管理基準に満たない場合、手直しを要するが、ほとんどの場合全面的にやり直さなければならない場合が多く、多大の費用が必要となる。
- ② 試験のためにコアを抜くが、コアの跡が完成後ポットホール等の原因になり易い。
- ③ 密度のデータがスポット的であるため、舗装盤全体の連続的な密度の把握ができない。
- ④ コアの採取に時間を要し、また、その試験に時間を要する。

また、その他の問題としては、①複合ローラや振動ローラによる締固め作業の検討、②ローラ軸への混合物付着防止対策、などが上げられている。

c. 平坦性

平坦性の確保は、フィニッシャによる敷均しやローラの転圧作業によるが、路床や路盤の仕上り状況の影響も大きい。

施工管理は、密度と同じように施工中に確保することが難しいため、施工後に3 mプロフィールメータ等を用いて行われる事後管理となっている。

いずれにしても、施工後に管理基準に満たない場合は手直しが難しいため、表層や基層の施工時はもちろんのこと、路床や路盤の施工時においても十分な平坦性の精度が要求される。

最近では、3 mプロフィールメータに替えてレーザ等を利用して計測し、それをコンピュータにて処理する装置で自動車に装着可能としたものも使用され始めている。

4.3.5 施工管理の合理化に向けて

舗装工における施工合理化の検討としては、従来の舗装機械の性能向上について研究開発が行われ、その施工能力も大巾に向上してきており、最近では自動化に向けた研究開発も盛んに実施されている現状にある。

一方、施工管理の面を見ると前項で述べた問題点を解決する技術の開発はあまり進んでおらず、管理基準等の見直しと合せて今後の研究が期待される場所である。以下、現在試みられている新しい技術について若干紹介を行うが、十分な内容検討ができていないので昭和63年度も引続いて検討を行う予定である。

(1) 舗装機械の新技术の動向

最近では、舗装技能者の高齢化に伴うニーズの増大や、エレクトロニクス技術やセンサ技術の急速な

発達に伴い、自動化の試みが盛んに行われ始めている。

アスファルトフィニッシャでは舗装厚の自動調整装置の実用化が約15年前頃からなされているが、最近では制御の精度向上を目指して従来のON・OFF制御から比例制御に移行してきている。しかし、この舗装厚自動調整装置は、予め路盤に設置された基準線に対し平行に仕上げるためのものであるため、平坦性の確保は可能であるが本当の意味での舗装厚一定とはいえない。将来的にはスクリード付近で舗装厚を自動検出し、スクリードの位置を自動制御するといった、本当の意味での自動化が望まれる。

また、混合物の供給制御もすでに自動化が実用になっており、その他に自動ステアリング装置や自動発進・停止装置などの研究が行われており、完全無人自動運転化に向けていろいろな試みがなされているが、現状の技術レベルではまだ困難な部分も多い。

ロードローラの施工管理は、運行管理が主体となるため、運行管理システムの検討やコンピュータを用いた無人運転などの研究が行われているが、転圧中の密度の正確な把握が難しいため、転圧作業中に連続して密度を測定する技術の開発が待たれるところである。

また、最近外国ではオシレトリローラ（水平振動ローラ）の実用化が図られている。

このローラは従来の振動ローラの振動方向が垂直だけしかできなかったものを、図-4.17に示すように水平方向の振動も可能としたもので、垂直振動による舗装盤の破壊がなく、ローラが転圧面を離れることがないため、共振したり動的不安定になりにくいため、舗装工への適用も検討が考えられる。

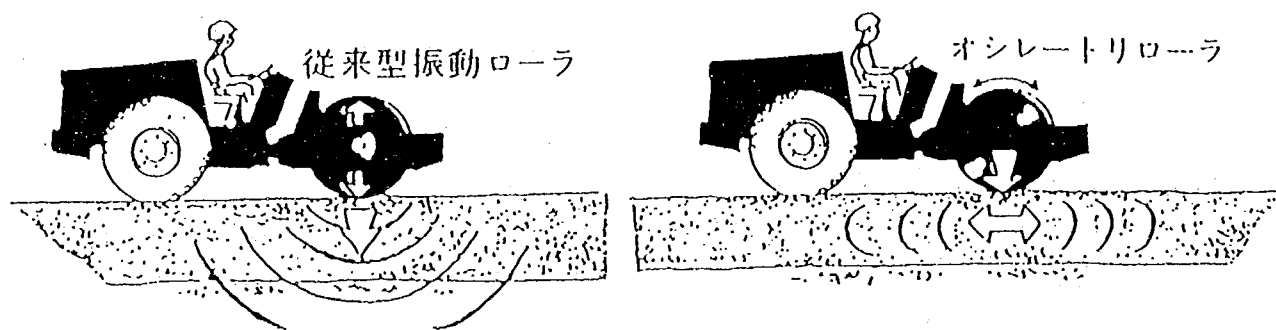


図-4.17 従来型振動ローラとオシレトリローラ

(2) 施工管理機器の現状

施工管理用の新しい機器としては、前述したように、あまり新しい試みがなされていないが、密度の測定については、ラジオアイソトープの線源を利用したRI計がある。（図-4.18）。

RI計は非破壊であることや、比較的短時間で測定できること、測定時の個人差がないことから、道路公団においては土の締固め密度の管理用に導入されているが、アスファルト混合物については、外国では実用化されている例はあるものの、わが国においては、実施工に使用された実績がないのが現状で、今後の課題といえる。

また、RI計は1ヵ所当りの測定時間に数分かかるため、厳密な意味においては即時管理とはいえないが、最近では、これらの連続測定システム開発の例が外国でなされているので、検討する必要があると思われる。

その他の施工管理機器としては、振動ローラーのドラムの振動による締固め層の動的応答を測定し、それを電気的に処理して締固め度を即時的にモニタすることが可能であるコンパクトメータが実用化されているが一般的なものとなっていないため、この辺の調査についても今後の検討課題となろう。

運行管理で施工管理しようとする機器は、ローラーの運転席にセットされた制御盤に設計車線長と設計転圧回数をセットしておくと走行距離から転圧回数を算出し、次の車線に移る信号を出すシステムであるが試行の域を出ていない。

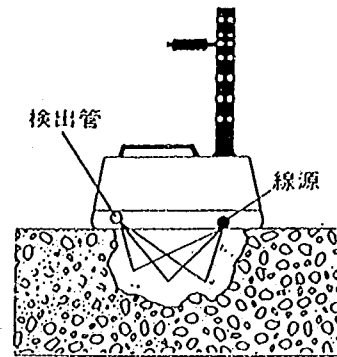


図-4.18 RI 密度計の原理

4.4 軟弱地盤処理工における施工管理

4.4.1 施工法の実態

国土の狭い我国では、建設立地条件の悪い軟弱地盤地帯をも克服して限られた国土の有効利用を図らねばならない。特に社会資本の整備拡充にともなう海浜を含めた軟弱地盤地帯の工事の増加と、環境公害問題等の両面から対策工法に対する要求が強まり、多くの工法、機会が開発され、日進月歩の革新が行われている。

本項では、現状の軟弱地盤対策工法の分類と、その中から主な軟弱地盤対策工法の施工管理を含めた最近の開発動向について触れ、次いで本研究の対象となる混合処理工法の現状に話題を絞って述べる。

(1) 軟弱地盤対策工法の分類と最近の動向

軟弱地盤対策工法は、その目的と条件により多種多様の工法が実施されている。

工法の分類については、工法の原理に基づく分類が一般的になされており、文献によって多少の差はあるが、表-4.32にその一例を示す。これらの中から混合処理工法以外の機械化施工に関係の深い工法の最近の動向について述べる。

1) バーチカルドレーン工法

バーチカルドレーン工法の代表的な工法として、サンドドレーン工法、カードボードドレーン工法があげられる。サンドドレーン工法は、施工実績も多く広く使われてきた工法であるが、確実な砂柱の形成が可能であるか圧密沈下量が大きくなった時、地盤の変形にサンドドレーンが追従してドレーン効果を維持できるかという疑問を背景にして袋詰め式サンドドレーン工法が開発され、陸上工事においては、

表-4.32 軟弱地盤対策工の種類¹⁾

原 理 区 分	工 法
表 層 処 理 工 法	敷 設 材 工 法 表 層 排 水 工 法 表 層 混 合 処 理 工 法 サ ン ド マ ッ ト 工 法
置 換 工 法	掘 削 置 換 工 法 強 制 置 換 工 法
押 え 盛 土 工 法	押 え 盛 土 工 法 傾 斜 面 工 法
盛 土 補 強 工 法	盛 土 補 強 工 法
荷 重 軽 減 工 法	軽 量 盛 土 工 法
緩 速 載 荷 工 法	漸 増 載 荷 工 法 段 階 載 荷 工 法
載 荷 重 工 法	盛 土 荷 重 載 荷 工 法 大 気 圧 載 荷 工 法 地 下 水 低 下 工 法
バ ー チ カ ル ド レ ー ン 工 法	サ ン ド ド レ ー ン 工 法 カ ー ド ボ ー ド ド レ ー ン 工 法
サ ン ド コ ン パ ク シ ョ ン バ イ ル 工 法	サ ン ド コ ン パ ク シ ョ ン バ イ ル 工 法
振 動 締 固 め 工 法	バ イ プ ロ フ ロー テ ー シ ョ ン 工 法 ロ ッ ド コ ン パ ク シ ョ ン 工 法 重 錘 降 下 締 固 め 工 法
固 結 工 法	深 層 混 合 処 理 工 法 (機 械 攪 拌 工 法 及 び 噴 射 攪 拌 工 法) 石 灰 バ イ ル 工 法 高 液 注 入 工 法 凍 結 工 法
構 造 物 に よ る 工 法	矢 板 工 法 く い 工 法 カ ル バ ー ト 工 法 (高 架 工 法)

この袋詰め式サンドドレーン工法の実績が伸びてきている。

また、ドレーン効果はドレーンの直径より打設間隔により大きく左右されることから、小径の袋詰めドレーンを4本同時に施工する機械が開発・実用化されている。

一方、カードボードドレーン工法では、ドレーン材の強度的不安を解消するために各種のプラスチックボード系のドレーン材料が使用されている。また、最近では被感知材をつけたドレーン材と感知装置をつけた機械により、ドレーン材の共上りを記録管理できるものが開発されている。

2) サンドコンパクションパイル工法

サンドコンパクションパイル工法は、ハンマの衝撃を利用するパーカッション式と振動を利用するバイブロハンマ式とがあるが、最近では後者のバイブロハンマ式が多く使われている。本工法の施工管理は、図-4.19に示すように通常ケーシング先端深度計（G. L計）や砂面計（S. L計）を用いている。また、品質の確認手法として標準貫入試験が実施されることが多い。

最近の開発動向としてメカトロニクスを駆使し、地盤土性のバラツキに対応できるように、パイル造成工程について原地地盤強度を検知して、その変化に応じてパイル径を自動制御する機械の開発・改良が進んできている。

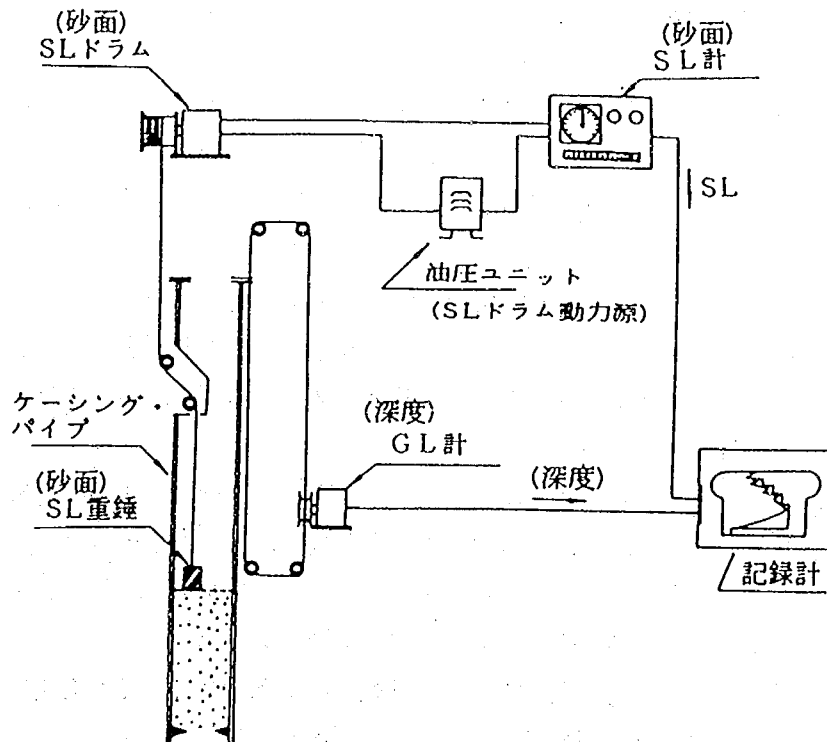


図-4.19 サンドコンパクションパイル工法
施工管理模式図例

3) 薬液注入工法

薬液注入工法は、薬液を地盤の間隙に注入して強化する工法である。この工法は、薬液による地下水汚染の問題をきっかけとして暫定指針が通達され、使用薬液の種類あるいは環境監視などの制約をうけ

ている。このような背景から、無公害の薬液をはじめとして、限定された範囲に注入する各種注入方式が開発されている。例えば建設省総合技術開発プロジェクト「新地盤改良技術の開発」の中で開発されたバイモード工法もそのひとつである。本工法の施工中の管理は、主に注入量・注入圧力であり、施工後は、注入後半年まで水質監視を実施している。最近では、コンピュータを用いて注入量、注入圧力などを自動的に管理する方法が導入されつつある。

また、注入効果の確認方法として電気比抵抗、RI、超音波などの物理探査技術を応用した方法の適用性についても検討されつつある。

(2) 混合処理工法の分類と概要

地盤に安定材（セメント、生石灰等）を混合して強化する方法は、一般に混合処理工法と呼ばれている。混合処理工法を大きく分類すると、表層混合処理工法と深層混合処理工法に分けることができる。

1) 表層混合処理工法の実態

表層混合処理工法の多くは、道路舗装において路床上に安定材を使用して安定処理するのが代表的であるが、近年湾岸部の工事あるいは内陸部における軟弱湿地帯においても河川堤防や道路盛土等を築造する際にこの表層混合処理が用いられる事例が多くなっている。一般に、路床・路盤における安定処理と浅層の安定処理および盛土路体の安定処理を総称して表層混合処理と呼んでいる。処理層厚についての統一的な定義はないが、おおむね3～4m未満を対象としているようである。

安定処理対象となる土質と安定材との混合には、表層軟弱土・路床・盛土路体での安定処理の場合には現位置での路上混合方式、路盤や建設残土に使用する場合にはプラント混合方式、事例は少ないが盛土や置換土の土取場で行う地山混合方式がある。プラント混合方式および地山混合方式の作業フローを図-4.20、図-4.21に示す。

安定材の荷姿は、一般的にセメント系では袋詰、ローリタンクによるバラ詰が用いられる。一方、石灰系では、粒径が5mm以下の粉状のもの、30～50mm粒状のもの、湿潤消石灰のものがあって同一ではないが一般には、袋詰、フレキシブルコンテナ、ローリタンクバラ詰めがある。これらは、混合方式または現場条件によって使い分けられている。

安定材としては、セメント系と石灰系とに大別され、安定材の選択は、工事の対象となる土質または材質に基づいて行われている。例えば、礫質土、砂質土の場合はセメントの凝結と硬化を期待し、かつ初期強度を得る目的でセメント系を用いている。また、土質が粘性土やローム（火山灰質粘性土）などで含水比の大小などによっては、消化吸水反応やイオン交換反応、ポゾラン反応、炭酸化反応を期待して生石灰（粒状または粉末状）、消石灰（粉体または湿潤状：水分2%程度）を用いている。石灰系は遅硬性であるが安定処理後の手直しが容易であるなどの利点もある。

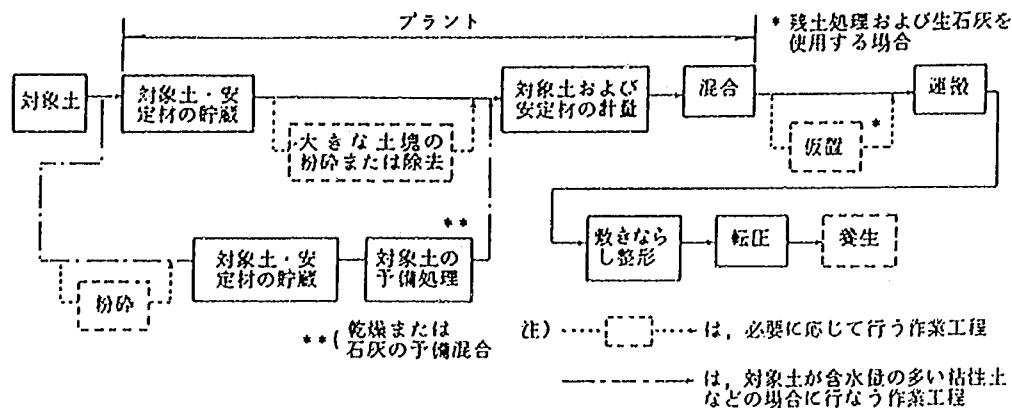


図-4.20 プラント混合方式の作業工程

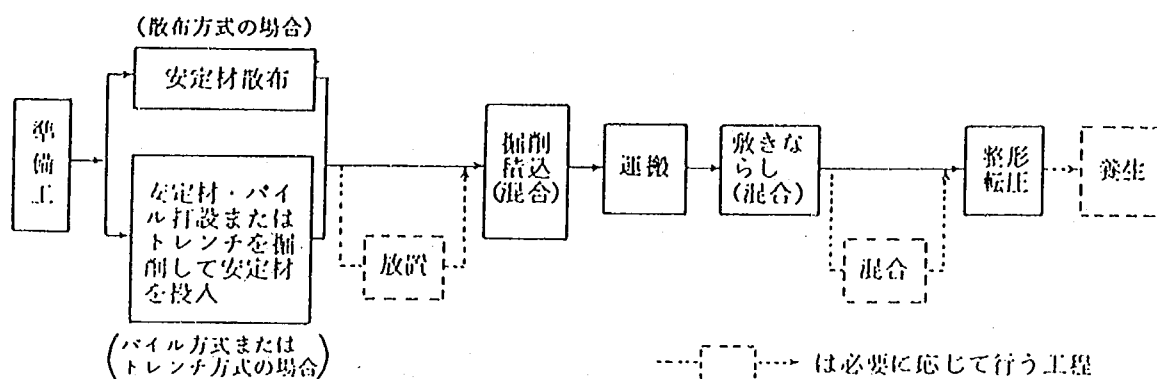


図-4.21 地山混合方式の作業工程

2) 深層混合処理工法の実態

深層混合処理工法は、表-4.33に示すように混合の方式によって機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法とに分けられる。この他にも安定材料の状態により「スラリー供給方式」と「粉末供給方式」に区分される。

本工法は、我国独自で技術開発され、最近かなり使用されてきた工法である。図-4.22及び図-4.23にその適用例を示しているが、実用化されて日が浅いこともあって、設計法、改良土の品質の評価方法等が必ずしも確立されていない。しかし施工機械等の改良開発によって実用範囲が確実に広がってきている。

機械攪拌工法、高圧噴射攪拌工法の代表的な施工機械構成および攪拌状況を図-4.24に示す。

まず、機械攪拌工法のスラリー供給方式のDLM系方式は、軟弱土中にある速さで貫入引抜きを行いながら、スラリー状安定材を吐出し、攪拌翼を回転させて土と混合させ地盤を強化する。

HCM系方式は、駆動軸を回転させスラリー状安定材を掘削翼先端より吐出しながら貫入し、上下に攪拌しながら定着させる。引抜時も攪拌させる。

アースオーガ方式は、アースオーガで掘削したあと、オーガ軸内の通路を通じて安定材を圧送吐出し、

オーガヘッドで攪拌する方法である。

粉体供給方式のDJM工法は、粉体を空気圧送し、攪拌翼の影から噴射して攪拌する工法で、地盤によって貫入時吐出混合と引抜時吐出混合が使い分けられている。

次に、高圧噴射攪拌工法については表-4.34に、その代表的な三つの方式の仕様概要を示す。

スラリー噴射方式は、回転しながら高圧で吐出するスラリー噴射だけで攪拌し、現地盤と混合強化するもので単一噴射方式ともいえる。それに対して、他の二方式は複合噴射方式である。

表-4.33 深層混合処理工法の攪拌方式による分類例³⁾

深層混合処理工法 (DMM)	高圧噴射攪拌工	スラリー噴射方式	CCP工法, ミニマックス工法 (MMI工法)
		スラリー・エア噴射方式	JSG工法
		スラリー・エア・水噴射方式	コラムジェットグラウト工法
	〔高圧噴射・機械攪拌工法〕	スラリー噴射・機械攪拌方式	大口径ミニマックス工法 (JMMI工法), HQS工法
	機械攪拌工法	DLM系方式	CMCI工法, DCMI工法, POCMI工法, デコム工法
		HCM系方式	DeMICI工法, SWINGI工法, DCCMI工法
		アースオーガ系方式	JSTI工法, テノコラム工法, SECI工法, SMWI工法, MR-DI工法, CSLI工法, MIPDI工法, SSSI工法, YSWI工法, RMPDI工法, ESCソイルパイル工法
		粉体混合方式	DJMI工法

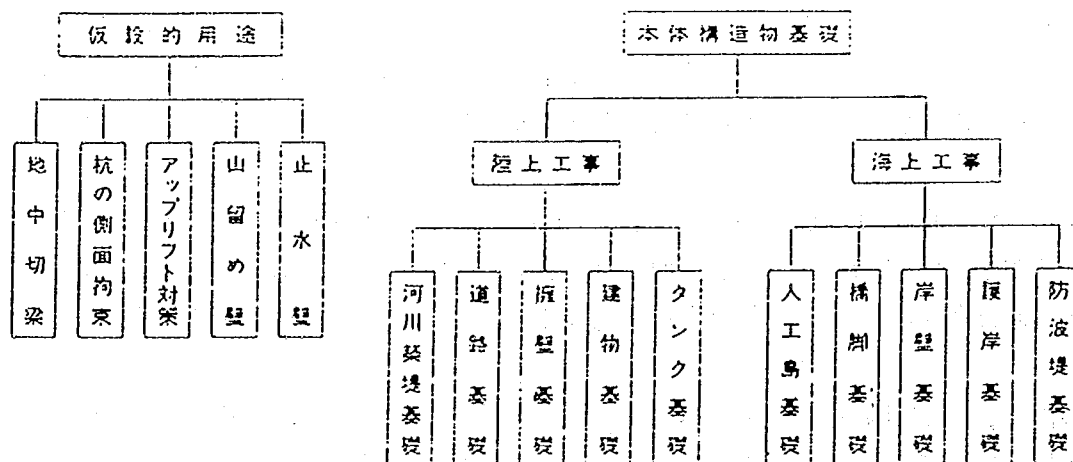
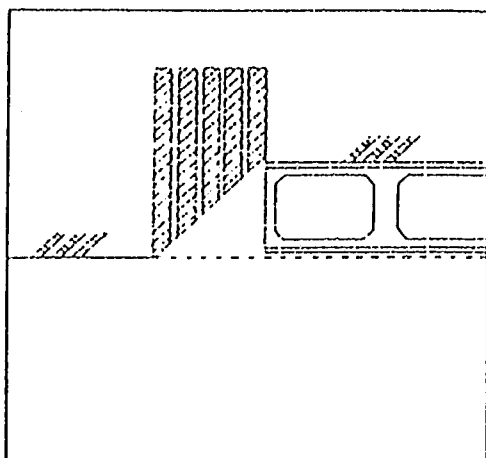
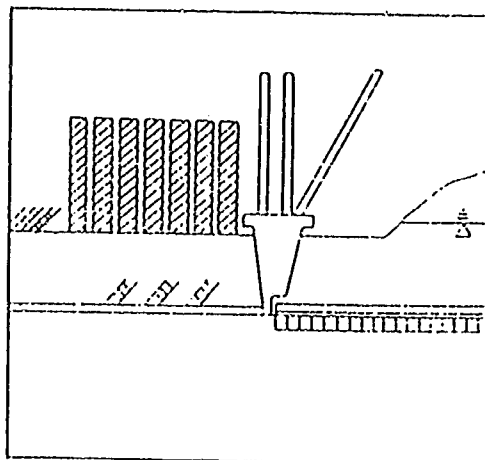


図-4.22 深層混合処理工法の適用例



(a) 橋台背面のすべり破壊防止, 沈下の低減



(b) 掘削のり面の安定

図-4.23 深層混合処理工法の用途例

表-4.34 高圧噴射攪拌工法の仕様概要

方 式	スラリー噴射方式	スラリー・エア噴射方式	スラリー・エア水噴射方式
改 良 材	セメントミルク系 セメント系固化材	セメントミルク系	セメントミルク系
常 用 圧 力	200kgf/cm ²	200kgf/cm ²	400kgf/cm ²
ロ ッ ド	1重管	2重管	3重管
ロ ッ ド 回 転 数	20rpm	5-10rpm	5 rpm
空 気	使用せず	7 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
造 成 径	0.4~0.8m ヘドロ 1.5m	0.8~1.2m	1.5~3 m

	施工機械の構成例	攪拌状況
機械攪拌工法 (スラリー方式)		(a) D.M. 系方式 (b) HCM 系方式 (c) アースオーグ系方式
機械攪拌工法 (粉体方式)		(粉体混合方式)
高圧噴射攪拌工法		(a) スラリー噴射方式 (b) スラリー空気噴射方式 (c) スラリー空気水噴射方式

図-4.24 深層混合処理工法の施工機械および攪拌状況³⁾

スラリー・エア噴射方式は、スラリー噴射に圧縮空気を同時に添わせて、スラリーを空气中噴射の条件に近づけて噴射し、より硬い地盤での施工あるいは改良径の拡大を計るものである。スラリー・エア・水噴射方式は高圧水ジェット及び空気で改良地盤を切削し、エアリフト作用で排土した所にスラリーを注入するものである。前二方式に比べ排土処理を伴うが高強度の改良ができるのが特徴である。

4.4.2 施工管理の実態

施工管理の実態については、深層混合処理工法の機械攪拌工法として粉体供給方式、高圧噴射攪拌工法に関しては、ある程度同じレベルで施工管理方法が進んでいるようであるので、スラリー噴射攪拌方式の九州の有明海沿岸地帯実例から各々の施工管理について述べる。

表層混合処理工法については、路床の安定処理の実態を主体として述べる。

(1) 表層混合処理工法の施工管理の実態

施工管理は、施工現場の条件、表層混合処理工の目的や設計条件、混合方式の差異等によって一概にはいえないが、一般に用いられている路床工の路上混合方式を主体に述べると次のようである。

安定材による軟弱路床土の改良は現位置で土の状態（CBRや含水比）の改善などのために用いるので施工にあたっては、現場条件（沿道の屋並や、土地の使われ方、作業帯がどれだけ確保できるか、機械化施工に関して搬入路、機械のトラフィカビリティの確保が可能かどうか、材料の搬入等々）を十分把握する必要がある。特に土質条件については施工場所のボーリング結果の他、地表地質調査のように地域の地質、地層についても理解して施工管理に反映するようにしている。その結果、必要に応じて土質試験や各種測定を行っている。

配合等仕様書に示す条件を満足させるために基準試験として、材料試験、室内配合試験を行い実施配合（現場配合）を定めている。また、計画された混合機械の性能をパンフレット等をもとにして確認している。これらは施工計画書にまとめられ、一般的には前述の作業を事前調査と呼ばれている。

施工中の管理項目としては、品質では目標強度としてCBRが一般的であり、一軸圧縮強度 q_u が併用される場合がある。試験施工においては、コーン指数、平板載荷試験による地盤強度 K_{90} を求めることもある。なお、原位置土がCBR 1程度のものに対して目標強度はCBR 8～10程度とすることが多い。

出来形では、路床仕上り面の基準高さ、施工幅員、施工厚さ（坪掘りによる測定）の他、表-4.35にA地建の例を示すように写真管理を義務付けている場合もある。なお、安定材の散布量は路床面に枳切りをし必要量の散布厚さを一定に敷設させて確認するのが一般的で、稀にはマットを布設させて m^2 当り重量を測定する場合もある。また、施工厚さは0.6～1.0mが多い。

(2) 深層混合処理工法の施工管理の実態

1) 機械攪拌工法の施工管理（粉体供給方式の例）

i) 施工機械

粉体供給方式の施工機械は先に図-4.24に示したように改良機本体部と安定材プラント部に分けられる。改良機本体部は攪拌軸、攪拌翼、駆動装置、ベースマシン、リーダマストなどからなり、安定材プラント部は安定材サイロ、安定材供給機、ホースなどから構成されている。

表-4.35 写真による施工管理の一例

項 目	被 写 体	撮 影 条 件
着工前	工事予定地で表土を剥いだ状態	中心線上で工事起点より終点を望む
施 工	①表面の不陸整正 ②安定材散布 ③混合状態、混合深さ ④整正、転圧 ⑤路床面の検査 ⑥養生、排水状況	・施工機械と作業中全景 ・散布区間割及び運搬状況 ・混合、整正転圧
試 験	①配合試験 ②現場管理試験	各試験ごと：試験及び設備
完 工		着工前と同じ

このほかに、空気圧縮機及び発動発電機が必要である。

この方式は粉粒体の安定材を使用するもので、安定材をプラントから攪拌翼まで供給する方法に空気搬送の方式を用いている。安定材の供給量は任意に設定でき、設定供給量に対して高い精度の供給を維持するために、安定材供給機は図-4.25に示す供給機構を採用している。

ii) 施工管理

粉体供給方式の施工管理は、施工機械の機能を確認することを目的とした自主管理が多く行われているが一般的に図-4.26に示すような項目が実施されている。また、他の深層混合処理工法と同様に出来上りを直接観測しながら施工することができないことから、施工管理は計器による管理が主体となっている。

施工管理の成否は、施工中のプロセスの管理にかかるが、施工前にそれを補充する管理が行われ施工後にチェックボーリング及び杭頭検査を行っている。その概要を次に述べる。

① 施工前の施工管理

本施工に先だって、最適配合量を確認するために仕様配合量とその前後2点（例えば、仕様の配合量が $100\text{kg}/\text{m}^3$ であれば、 $80\text{kg}/\text{m}^3$ と $120\text{kg}/\text{m}^3$ ）を加えた試験打ちを実施し、1週強度（発注者によっては4週）の結果によって改良強度及び品質を確認している。

機械の垂直度は、傾斜計でチェックしているが機械基面の整備あるいはマットを敷いて水平を保つように施工されている。また、柱の配置は、可能なかぎり石灰等で現場地面に直接マーキングしている。

施工中は主に各種計器による管理が主体となるので、施工機械搬入時または本施工に先だって実施される試験打ちや、初期施工時に計器の機能及び以下の項目等をチェックしている。

- | | |
|------------|----------------------|
| ①自記投入量の検定 | ④毎分供給量 |
| ②貫入速度、引抜速度 | ⑤処理機回転数 |
| ③ロッドの長さ | ⑥攪拌翼検収（施工途中でも摩耗量を監視） |

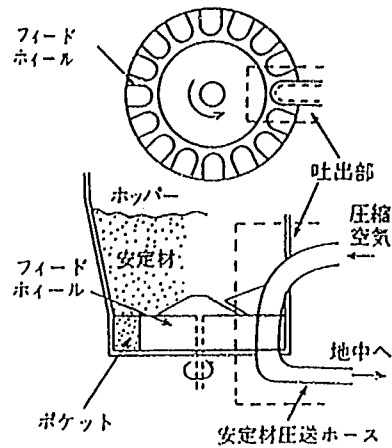


図-4.25 安定材供給機の機構略図⁴⁾
(粉体供給方式の例)

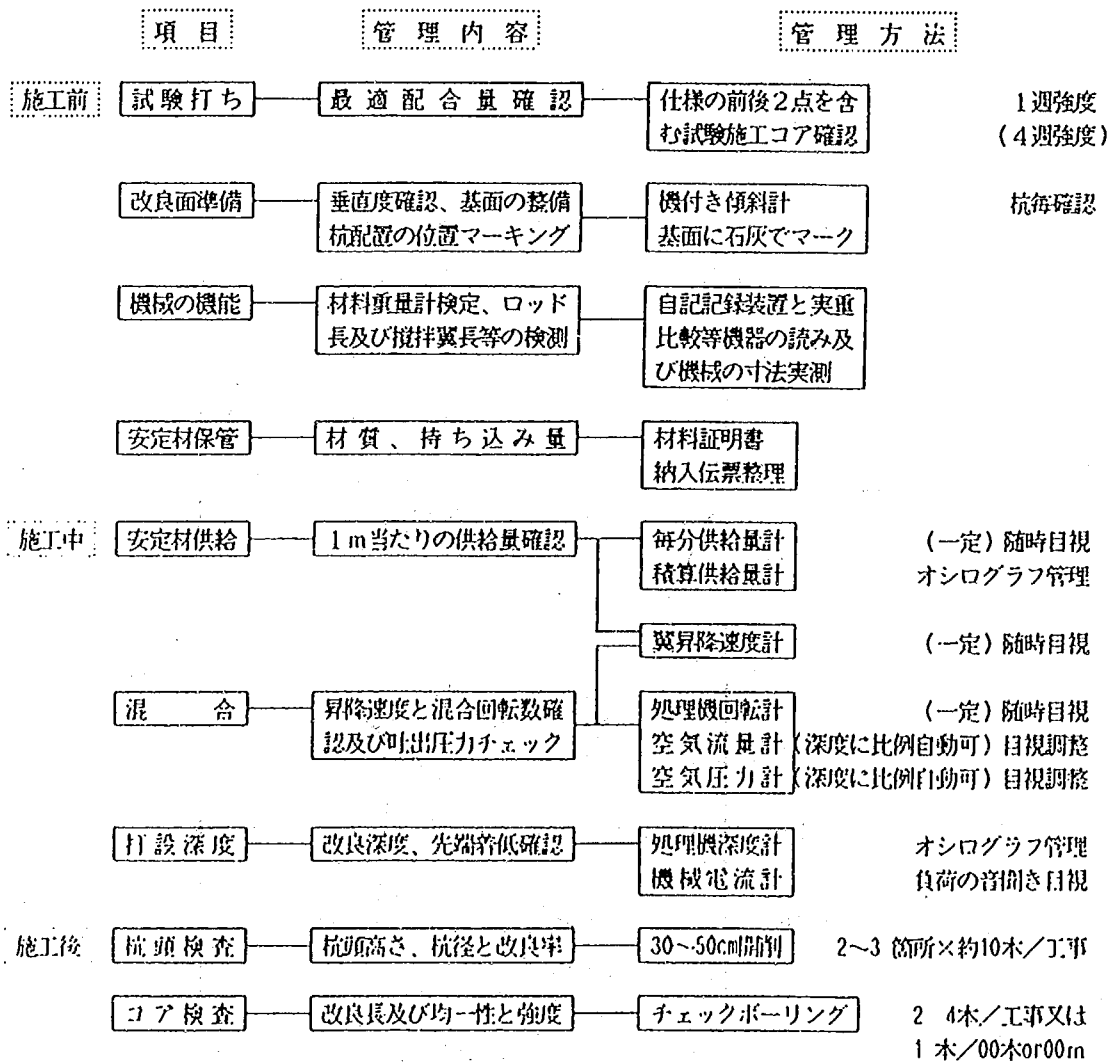


図-4.26 機械攪拌工法の施工管理図 (粉体供給方式の例)

安定材の保管は、20～30 t サイロで保管し、納入量の管理を行っている。また、生石灰の保管は消防法に基づく届出（500kg以上）をし、危険物取扱責任者（乙3種）を置き10日に1回の報告と随時消防署の立会いを受けている。

② 施工中の施工管理

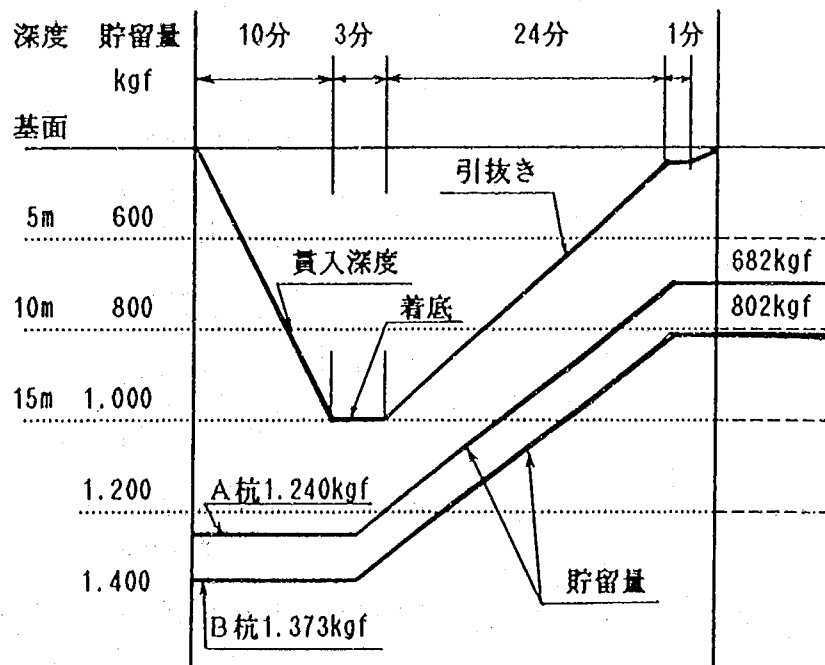
安定材供給量は、土質によって最適配合量で一定に施工されるので、オペレーターは、毎分供給量計を目視して施工する。オシログラフには、安定材の貯留量をコードセルで計測した値を安定材投入量としてペン自記し、時間当たり投入量も見られるようになっている。オシログラフには施工深度も記録されるので、深度毎の投入量も計算することができる（図－4.27参照）。

品質管理上は、攪拌翼の回転数、攪拌翼の昇降速度も重要であるが、現場によってほぼ一定としているので、オペレーターの目視確認となっているが、業者によって自主管理している場合がある。回転数も自記可能であるが特にペンレコーダに出力しない場合が多い。また、均一化に影響を及ぼす空気量と圧力の管理は、発注者の管理項目にはないが、施工業者はノウハウ項目として管理しており、機械的には自動管理可能であるが、オペレーターが目視調整をしながら実施している。安定材供給機制御盤を写真－4.3に示す。

図－4.28には、国道3号日奈久バイパス工事における施工業者の作業記録例を示す。攪拌翼の着底の確認は、事前の土質調査記録を参考にして深度計と機械の電流計の読みによって判断している。

③ 施工後の施工管理

施工後の確認のための杭頭検査は、写真－4.4にあるように杭頭を20～30cm以上出して、一工事で2～3ヶ所、10～20本単位ぐらいの頻度で改良高、杭径と改良率を検査している。



図－4.27 機械攪拌工法（粉体供給方式）の自記記録例
（引抜き時吐出例）

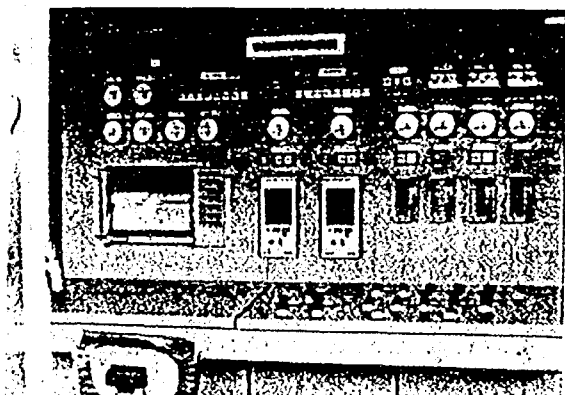


写真-4.3 安定材供給機制御盤



写真-4.4 杭頭検査

型 式	攪拌翼径	貫入速度	引抜き速度	安定材吐出方式
DJH 2090	1.000 mm	上層0.9m/min 下層1.2m/min	上層1.2m/min 下層0.9m/min	上層は貫入時吐出 下層は引抜き時吐出

深度 m	回転速度 (rpm) 30 50 70	空気圧力 (kgf/cm) 2 3 4 5 6	空気抵抗 (m/mim) 2 4 6 8 10	安定材供給量 (kgf/mim) 50 60 70 80 90	そ の 他
5					貫入時吐出 (セメント) —— 10m 引抜き時吐出 (セメント)
10					
15	37 rpm				
20					
25	74 rpm				

図-4.28 機械攪拌工法の施工機械に関する作業記録例

チェックボーリングは、工事毎に2～4本または500本に1本という頻度でボーリングしてコアを取り、長さによって、上、中、下または上下を各3点の圧縮試験を実施している。

ボーリングコアは、改良杭半径の中ほどを取っている場合が多い。有明海の場合、土質により六角川より西は生石灰、筑後川より東はセメント系によって施工されている場合が多い。

2) 高圧噴射攪拌工法の施工管理（スラリー噴射方式の例）

九州地建管内では、高圧噴射攪拌工法を用いる例として防潮堤防構築のために現堤防前面の捨石の下部地盤を改良する施工があげられる。これは機械攪拌工法では捨石除去をしなければ施工できない箇所を、捨石部を事前ボーリングしておき、その穴に注入ロッドを挿入して安定材を混合注入するものである。

表-4.36 機械攪拌方式深層混合処理工法の施工管理技術例（粉体供給方式）

種	管理項目	目 的	方 法	ポ イ ン ト	計測範囲	記録	備 考
改良材供給の管理	① 安定材供給 空気流量	粉粒状の安定材を一定量安定供給するために、空気流量をある値以上、かつ一定に保持する。	・流量計の信号と設定値を比較し、その偏差より連続的に発信される制御信号で調節弁を作動させる。	・土圧、水圧の不規則な変化に対応して、空気流量も不規則に変化する。 ・不規則な変化をマニュアル制御することは困難なため、自動制御としている。	0~10Nm ³ /min	-	BPに表示
	② 安定材供給 空気圧力	安定材輸送状況の異常（「つまり」）を迅速にキャッチする。	・空気配管に圧力計を設け、BPの指示計に出力している。	・輸送の異常は空気圧力に敏感に表われる。これを監視することは、「つまり」防止処理を迅速に処置するうえで重要である。	0~10kgf/cm ²	-	BPに表示
	③ 安定材供給量	所定量の安定材を土中へ供給するとともに、その量を確認する。	・ロードセルで受けた安定材重量を時間で微分し安定材供給量としている。 ・供給量の信号と設定値を比較し、その偏差により連続的に発信される制御信号でフィードホイル回転数を変化させている。 ・供給量は供給機操作者と改良機本体操作者の両者が確認できるようBPとMPに指示計を設けている。	・安定材供給量はフィードホイル回転数に比例することから、供給量の増減にはインバータを用いてフィードホイルの回転数を増減させている。 ・供給量は空気圧力等の影響も受けるため、頻繁にフィードホイル回転数を変化させる必要がある。この操作をマニュアルで行うのは困難であるため自動制御機構を取り入れている。	安定材重量 0~2000Kg	○	・安定材供給量の記録は安定材重量の変化を記録することにより行っている。 ・BPに表示 ・安定材供給量はMPにも表示
					安定材供給量 0~200kg/min	-	
	④ フィードホイル 回転数	安定材切出し状況の異常を迅速にキャッチする。	・フィードホイルに回転計を取り付け、BPに指示計を設けている。	・供給量とフィードホイル回転数が比例しない時は異常であり、迅速に処理できる。	0~240rpm	-	BPに表示
攪拌混合の管理	⑤ 安定材タンク加圧力	安定材供給の立ち上がりをスムーズに行う。	・圧力計の信号と設定値を比較し、その偏差により連続的に発信される制御信号で調節弁を作動させている。 ・設定値はバイパス空気圧力により把握する。	・加圧力が低すぎると安定材輸送管が閉塞し高すぎるとフラッシング現象を起し、供給量の制御ができなくなる。 ・加圧中は記録計の確認等操作者が多忙なため、自動制御としている。	0~10kgf/cm ²	-	BPに表示
	① 攪拌翼深度	攪拌翼の深さ方向の位置を検出、確認する。	・攪拌翼と共に上下するスラスト軸受の変位を深度計で検出し、BPとMPの指示計及び記録計に出力している。		-5~+25m	○	BP及びMPに表示
	② 貫入引抜速度	定められた速度で貫入・引抜がなされていることを確認する。	・攪拌翼と共に上下するスラスト軸受の移動速度を速度計で検出し、BPとMPの指示計及び記録計に出力している。		0~4m/min	○	BP及びMPに表示
	③ 攪拌翼回転数	所定の回転数で攪拌翼が攪拌していることを確認する。	・攪拌機駆動装置に回転計を取付け、その出力をBP、記録計に出力している。	・誘導電動機を用いているため回転数はほぼ一定である。 ・回転数の切替のために極数変換式電動機を用いている。	0~60rpm	○	BPに表示
改良位置の管理	① 攪拌傾斜角度	改良柱体の角度を垂直に保つために、鉛直方向に攪拌翼が移動していることを確認する。	・リーダに2方向の角度検出器を取付けその指示を改良機本体操作者に行っている。	・角度の変化に応じて、2本のスティシリンダの伸縮で角度調整を行う。	前後:±5° or ±15° 左右: ±5°	-	MP機に表示
	② 位置決め	所定の位置に改良柱体が造成できるよう、改良機本体を移動する。	・位置検出装置は装置本体に付属していない。 ・前後左右に移動できるように改良機本体はクローラマウントされている。	・前後方向の微調整が可能のように、スライドラシリンダを設けている。 (±75mm)	-	-	
	③ 攪拌機電動機 電流値	・機械への負担状況を把握する。 ・支持層への到達等、地盤変化を把握する。	・電動機電源回路に電流計を設置し、その指示を改良機本体操作者に行っている。	・地盤性状と電流値にはある関係があることから、電流値で地盤性状が概略把握できる。	0~150A	-	MPに表示

注) BP: 安定材供給機制御盤、安定材供給機操作者が取扱う

MP: 指示計盤、改良機本体操作者が取扱う

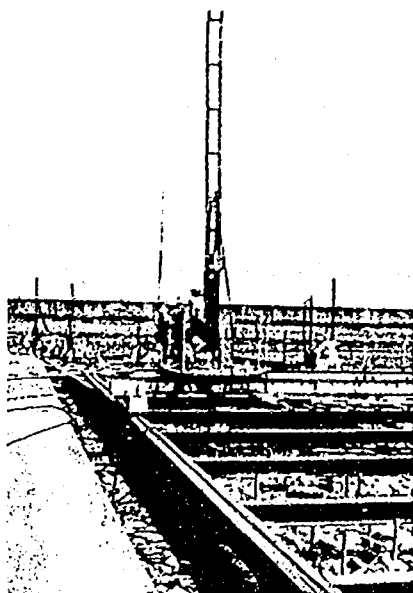


写真-4.5 スラリー噴射攪拌方式の施工状況

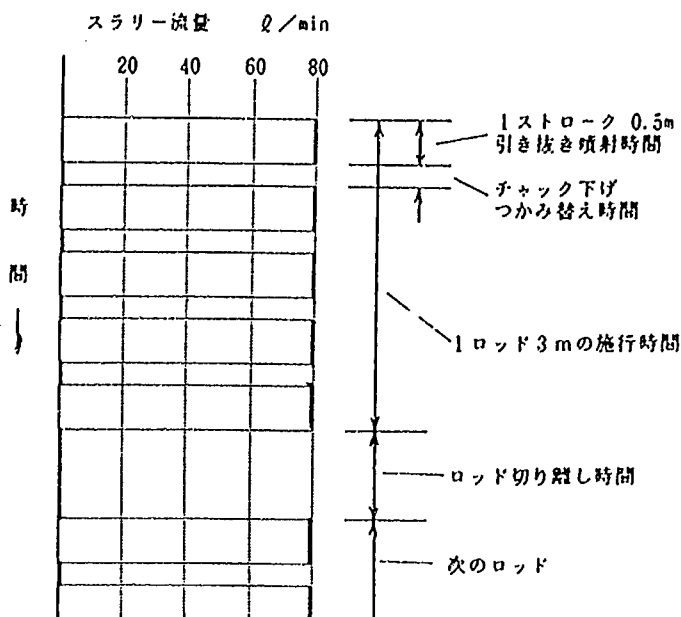


図-4.29 スラリー噴射攪拌方式の流量計の自記記録例

i) 施工機械

スラリー噴射方式の施工機械の構成は、先に図-4.24に示したが、安定材プラント部と注入機に分かれる。注入機はフロートタイプ、クローラタイプもあるが、現地ではレール走行タイプまたは小型の可搬式が使用されている。この他に発電機や流量計が付属している。

ii) 施工管理

スラリー噴射方式の施工管理も、機械攪拌工法と同じように施工中の計器等による管理に出来形および品質とも、その成否がゆだねられることになる。

① 施工前の施工管理

A工事事務所管内における工法では、捨石の下部に施工することになるためあって、受注後、同土質で掘り起し可能な場所において試験打ちを実施し、掘り出して改良強度及び出来形のチェックを行っている。ただし、前年に実施した所と同じ箇所で連続して受注した場合は、試験打ちは省略する場合がある。写真-4.5に施工状況を示す。

機械の据付はレール走行の場合、レールを水平に仕上げる必要がある。機能の確認や安定材の管理は、機械攪拌工法と同じである。

② 施工中の施工管理

スラリー噴射攪拌方式の施工中の管理は、従来の薬液注工法と同様に自記流量圧力計を用いて流量をオシログラフに記録させ行っている。このオシログラフの記録は、図-4.29に示すように注入時間と1分間当たりの注入量を記録するようになっている。

同図は1ストローク0.5mの場合であるが紙送りが遅いことにもより、正確な m^3 当たりの注入量が判読しにくく、深度と注入量の関係が出るような自記記録計の要望がある。

一般的にスラリー噴射攪拌方式では、ロッドの回転数は20rpm、吐出圧は200kgf/cm²と一定である。引抜き注入速度は、2分/m以上かける必要があるといわれ、注入量に応じて一定にセットする。打設深度は、ロッドの貫入寸法から計算し、ロッドが支持層に着底したか否かは削孔機に作用する負荷の具合で判断されている。

③ 施工後の施工管理

杭頭確認ができない場合が多いので、チェックボーリングを機械攪拌工法と同様に実施している。

4.4.3 現行の施工管理基準

(1) 表層混合処理工法の施工管理基準

表層混合処理工法では、施工管理の項目や基準値は工事の発注者等によって若干異なるようである。また、施工規模が小さい場合は項目や頻度が少なく、一方試験施工的なものは項目、頻度ともに多いのが一般的である。特に道路舗装における路床土の安定処理については、試験項目、配合試験方法、施工管理について「アスファルト舗装要綱」（日本道路協会）にもとづいているので設計の取扱いとともに体系が整っているようである。しかしながら、地方建設局の指導等もあって表-4.37～4.38に示すように多少の差異がある。なお、これらの表においては、参考まで日本道路公団、石灰協会、セメント協会、一部の府県についても併記した。

表-4.37 路床の混合処理における品質管理項目

管理項目	A 地 建	B 地 建	日本道路公団	A 県	B 県	石灰協会	セメント協会
安定材使用量	まき山厚さ10m毎	空装により検査	○	○	○	△	○
含 水 比	-	-	○	-	○	-	○
粒 度	-	-	-	-	○	△	-
粉 砕 度	セメント系のみ	-	○	-	-	-	-
飽 和 度	-	-	-	○	-	-	○
空 隙 率	-	-	○	-	-	-	-
室 内 C B R	400mlに1回	2回/日	-	-	-	△	○
現 場 C B R	-	-	-	-	-	△	-
地盤反力係数K _{st}	-	-	-	-	○	△	○
一輪圧縮強度q _u	-	-	-	-	-	△	○
ブルーフローリング	仕上げ後全区間実施	○	○	○	-	△	-

表-4.38 路床の混合処理における出来形管理

管理項目	A 地 建		B 地 建		日本道路公団		A 県		B 県		石 灰 協 会	
	頻 度	管理基準	頻 度	管理基準	頻 度	管理基準	頻 度	管理基準	頻 度	管理基準	頻 度	管理基準
基準高さ	40m毎	±5cm	40m毎	—	20m毎	±5cm	—	±4cm	20m毎	±5cm	20～100m毎	±5cm
厚さ	2ヶ所/日 200-300m ² に1回	±5cm	40m毎	-2.5	—	—	—	-5cm	20m毎	-5cm	20～100m毎	-5cm
幅	40m毎	-10cm	40m毎	-5cm	—	0～15cm	—	-5cm	20m毎	-5cm	20～100m毎	-5～10cm

安定材による路床安定処理は、土と安定材そのものの化学的反応によって強度が発現されることや、路床に期待している役割を考えると締固め等は、無理が生じやすく品質管理項目を必要最少限に行う主旨からして、安定材の使用量、室内CBR試験、プルーフローリングを行うのが適当と考えられる。また、路盤工では、その役割からしても配合設計上では安定材使用量、粒度、締固め度に関する試験、およびプルーフローリングを行うことが必要であると考ええる。

出来形管理項目は各種工種ともに基準高さ、厚さ、幅の三要素に統一されており、頻度、管理基準ともに多少の差異はあるものの大差はない。

写真管理は不可視部分を撮影することを目的としているが、施工状況も大切であるので実施しておくことが望ましい。先に表-4.4.4に示したA地建の写真管理例では、頻度が明記されていないが、工事規模を勘案して出来るだけ撮影枚数を少なくすることとしている。

(2) 深層混合処理工法の施工管理基準

表-4.39および表-4.40には、深層混合処理工法のうち、機械攪拌工法および高圧噴射攪拌工法の品質管理方法の一例を一覧表にして示す。

表-4.39 機械攪拌工法（粉体供給方式）の施工管理基準の現況表

管理項目	A 地 建	B地建C事務所 (小規模工事)	B地建D事務所 (小規模工事)	E地建F事務所 (本社になし)	G 県 (A地建に準ず)
チェックボ ーリング数	(部単位基準) 1本/500本	1本/100本	1本/100本	1本/2~3000m	1~3本/1工事
一軸圧縮 強度試験数	(事務所単位) 2,3所×3/本	基準示さず 自主管理	1m毎	2,3所×3/本	23所×3/本
杭頭確認	(自主管理) 2,3所/1工事	官側で実施	施工打ち合わせ で指示	2,3所/1工事	2,3所/1工事
自己記録	(事務所単位) 特記仕様書指示	請負者からの 任意提出	請負者からの 任意提出	特記仕様書指示	特記仕様書指示
寸法管理 基準	特になし	特になし	特になし	特になし	特になし

表-4.40 噴射攪拌工法（スラリー噴射方式）の施工管理基準の現況表

管理項目	A 地 建	G 地 建 (A地建に準ず)	H 省 事 務 所 (本局になし)	G 市
チェックボ ーリング数	(部単位基準) 1本/500本	1~3本/1工事	(水路工事) 1本/水路100m	1本/1000m+ 上層1本/500m
一軸圧縮 強度試験数	(事務所単位) 2,3所×3/本	(事務所単位) 2,3所×3/本	2個/本	———
杭頭確認	(自主管理) 事前試験打確認	(自主管理) 事前試験打確認	水路50m毎に 1ヶ所寸法計測	———
自己記録	(事務所単位) 特記仕様書指示	(事務所単位) 特記仕様書指示	———	———
寸法管理 基準	特になし	特になし	幅 +300-200 長 + —	———

この表に示すように、深層混合処理工法の場合、コアボーリングから採取した試料に対する一軸圧縮試験および杭頭部の掘削による確認が主たる管理項目であるが、各機関ともその頻度は統一されていない。また、管理基準についても、一応設計強度を下回らないという目安はあるものの、必ずしも明確になっていないのが現状である。

4.4.4 現状の問題点

(1) 表層混合処理工法における問題点

1) 改良層厚・混合度合等の簡易な測定方法

表層混合処理工法において改良層厚は、施工時はロータの位置で管理し、また施工後は素掘りなどにより確認しているが、傾斜地盤などでは基準面の位置出しが困難になることがある。また、混合度合の測定については摘定法等によって実施されているが、測定結果を得られるまで比較的手間と時間を要し、簡易な測定方法の開発が望まれる。また、改良地盤の密度等については、R I法の活用も検討する必要がある。

2) 土質条件に応じた混合機械の選定

混合機械は、現状では土質条件によって選定されている。例えば、砂質土であればドーザ式混合機を使用し、粘性土・ローム質土ではトレンチャ型混合機械を使用するが多い。この場合、作業速度0.15km/h、公称深さ1.2m、混合幅0.5～2.0mが一般的である。現場条件によっては、パワーショベルで混合している場合もあるが、専用機の使用が多い。このように、土質条件に応じて経験的に混合機械を選定しているが、混合機械の能力、性能に加えて、改良土の品質が明確にされていない。また、最近では、施工機械の性能の向上に伴って品質に対する信頼性も増大しているものと考えられ、「アスファルト舗装要綱」に提示されている「路床の処理層厚20cmの低減層」に関して現状調査を実施する必要がある。

(2) 深層混合処理工法における問題点

1) コアボーリングによる強度評価方法

- ① コアボーリングの方法や頻度については、各地方建設局、他省庁、公団、自治体等において必ずしも足並みが揃っておらず統一が必要であると考えられる。

例えば、・土質、改良規模に応じたコアボーリングの頻度、位置の設定

- ・工程を考慮したコアボーリングの時期の設定（1週or 4週強度、最近では工程の関係で3日強度のように極めて早期に強度チェックをする傾向がある。）

- ② コアの一軸圧縮強度を求めることにより改良効果を評価する場合が一般的であるが、ボーリングの方法によって得られる試料の状態が著しく異なる。すなわち、良好な状態の試料を採取するためにはかなり割高となる場合が多い。

2) 混合攪拌形式の違いを考慮した施工管理及び品質の評価方法

- ① 機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法では、現状において施工時の管理項目が大きく異なっており、共通的な施工管理項目の整理が必要である。
- ② 機械攪拌工法の場合は土層条件に限らず改良柱体の形状がほぼ一定であるのに対して、高圧噴

射搅拌工法の場合は土層条件、噴射圧力などの要因に大きく影響され、造成される固結体の直径が変化する。そこで、強度を確認する位置（コアボーリングの位置）等の整理が必要である。

3) 周辺環境を考慮した施工管理の充実

深層混合処理工法は、低振動・低騒音であることから都市内土木工事においても採用されつつあり、その際施工に伴う周辺家屋や構造物の変状に対する管理方法または管理基準の整備が必要である。

4) 用途に応じた設計・施工管理基準の整備

深層混合処理工法は、開発されてからの日が浅いにもかかわらず、その適用用途は、確実に拡大している。例えば当初は、盛土の沈下の抑制、すべり破壊防止など改良部の軸力に期待する適用が主であったが、最近では、掘削工事における山留めなど水平抵抗に期待する適用事例も多くなっている。しかしながら、後者のような適用では改良部の深度方向の品質が設計上大切であり、自ずと施工管理基準も異なってくる。

そのような背景から、深層混合処理工法による改良土の品質を評価する場合、適用用途に応じた調査方法、頻度さらには、統計的な手法を重視した施工管理基準の整備が必要である。

4.4.5 施工管理の合理化に向けて

これまで深層混合処理工法および表層混合処理工法を主体として、現状の施工方法、施工管理の実態及び各々の混合処理工法の品質管理または施工管理の面から問題点について述べてきた。以下には、混合処理工法の品質管理・施工管理の合理化に向けて考えられる項目をあげてみる。

① 混合処理機の施工精度の向上及び施工管理の自動化

- ・安定材の供給および搅拌混合機能の安定化
- ・スラリー供給方式の場合のプラントの自動管理
- ・地盤状況に対応した施工方法の自動制御（混合量の制御、圧力制御）

② 簡易なサウンディング手法の開発

- ・コアボーリングを補完する簡易なサウンディング手法の開発

③ 安定材の混合量測定の迅速化

- ・温度、カルシウム含有量、PH等による安定材混合量の迅速な測定

④ 施工管理基準の整備

5. 土工における施工管理手法の研究

5.1 研究目的及び概要

道路盛土や堤防、フィルダムなどの土構造物を構築するにあたっては、現場から発生する土を有効に活用し、経済的に、安全に、迅速に施工するとともに、構築された土構造物が設計で考慮された強度特性や変形特性などの力学的、工学的性質を有しているかを常にチェックし、土構造物の品質の確保を図る必要がある。

特に、土工材料としての土は、他の工場生産の土木材料と比べ強度や圧縮性などが土の種類によって大きく異なり、同じ土であっても施工時の条件、特に含水比によって相当に違ってくる。

このような土の特徴を考えると、他の土木材料以上に厳密な施工管理、品質管理を行うことが必要である。特に土の持つ不均一性、変動の大きさなどを考えると、本来、面的にくまなく品質を管理することが望ましい。

一方、現在、土工の品質管理手法として主に砂置換法による密度と含水比の測定が行われているが、この方法では、現場密度の測定に20分程度の時間と2～3人の人手を必要とする。さらに、含水比の測定には炉乾燥に1昼夜かかり、多くの人手と時間を必要とする。このため容易に測定回数を増やすことが難しく、面的な管理の実施は極めて困難である。また、測定結果の施工への反映や近年の機械化された施工に対応した迅速な品質管理も難しい状況である。

このような状況下にあって、土木研究所を中心に各研究機関によりエレクトロニクスなどを活用し、密度や強度を迅速、経済的に測定可能な計測機器の開発が進められ、土構造物の高品質化への要望や迅速な施工への対応の可能性が生じてきている。

本研究は、これらの新しい計測機器、測定方法について土工の品質管理への適応性を検討し、実用化の検証を行い、リアルタイム計測で施工へのフィードバック可能な合理的な品質管理手法、管理基準等の提言を行うことを目的に実施する。

土工の品質管理手法や品質管理基準を考える場合、図-5.1に示すように、構造物の重要度などに応じた品質、材料の品質規格や施工基準、管理基準項目など多数の項目について検討することが必要である。特に土の種類や含水比などの品質規格、締固め機械や転圧回数などの施工基準は施工管理の上で重要な検討項目である。本節では、これらの多数の検討項目のうち新しい計測機器、計測方法による品質管理手法、管理基準の提言に直接関係する項目、すなわち、品質の管理基準項目とその試験基準、測定方法及び計測で得られた結果の評価・判定方法について検討を行うことにしている。

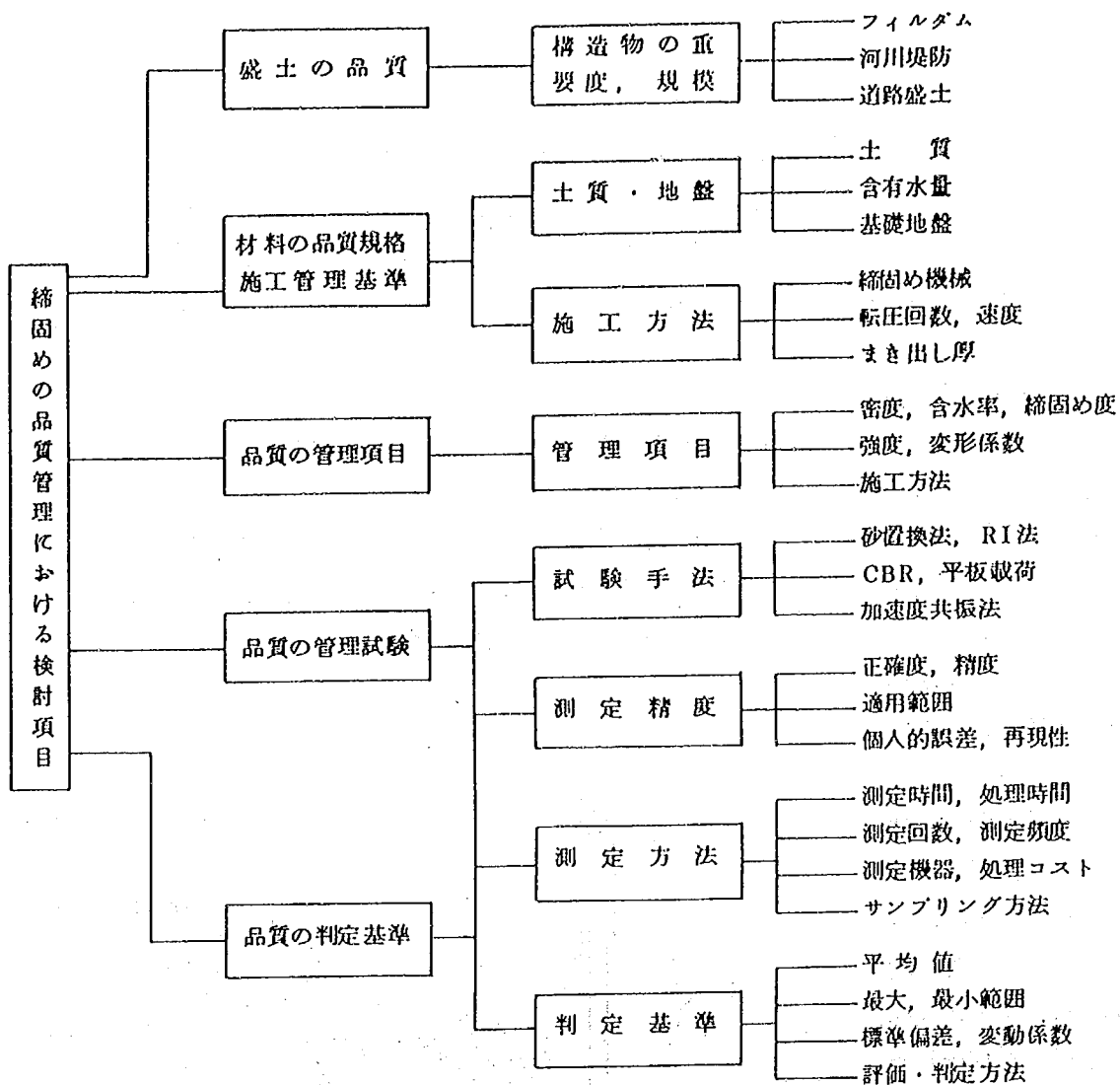


図-5.1 締固めの管理方法の影響を及ぼす要因

5.2 研究内容

本節の研究内容は、次に示すように大別される。

- (1) 新しい計測機器の施工管理試験装置としての適応性の把握
- (2) 新しい計測機器による地盤の品質特性の把握
- (3) 新しい計測機器による盛土の品質管理手法、管理基準案の検討
- (4) 現場施工での新しい計測機器の施工管理試験装置としての適応性、及び品質管理手法、管理基準

案の適否の検討

5.3 施工管理試験装置の概要

本調査においては、密度管理試験として、従来法である砂置換法による土の密度試験のほか、透過型R I試験、散乱型R I試験、電磁波法による土の密度試験をとりあげ、強度管理試験としては、従来法である平板載荷試験、現場C B R試験のほか、重錘（インピーダンスヘッド）落下試験、衝撃加速度試験、球体落下式簡易C B R試験をとりあげて、施工管理試験についての検討を行った。

1) 密度管理試験

① 砂置換法による土の密度試験

本試験は、現位置に円柱形の試験孔を掘削し、密度が既知である砂で置換して、地盤の密度と含水比の測定を行うものである。試験法の詳細は、日本工業規格J I S A 1214「砂置換法による土の密度試験方法」に記載されている。砂置換法は、土質に対する適応性の広さ、測定値の精度の良さ、操作の容易さなどから現場密度試験法の標準的手法と見なされている。しかし、測定に時間を要すること、地盤を乱す試験方法であることなど幾つかの問題点を拘えている。

② 透過型R I試験

R I試験とは、地盤表面下の密度、水分量を測定するもので、放射性同位元素（Radio Isotope）の線源より射出された放射線が地盤の構成原子と相互作用する性質を利用したものである。土の密度の測定は、放射線にガンマ線を使用し、その相互作用（光電効果、コンプトン散乱、電子対生成）が被測定物の密度に強く依存する性

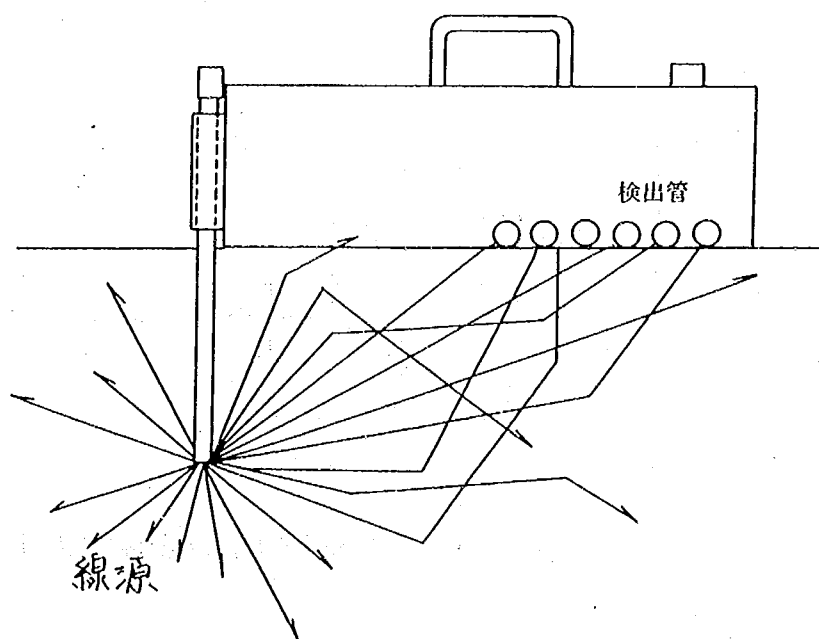


図-5.2 透過型R I試験

質を利用したものである。土の含水量の測定は、放射線に中性子線を使用し、土中の水分に含まれる水素原子が高速中性子と衝突、散乱して、高速中性子が熱中性子に変化する性質を利用したものである。

こうした原理を利用した透過型R I試験とは、放射性同位元素を先端に封入した線源棒を測定地盤に所定の深さで挿入し、地表面に置かれた検出器に入射する放射線の強度から土の密度、水分量を測定するものである。透過型R I試験は砂置換法による土の密度試験と比べて、測定時間が大幅に短縮され、一部の団体では実際の施工管理に使用されている。但し、その適用にあたっては、較正試験を確実にを行い、数年ごとに線源検査を行なう必要がある。試験原理図を図-5.2に示す。

③ 散乱型R I試験

散乱型R I試験の基本的な測定原理は透過型R I試験と同じである。しかし、透過型R I試験が、線源より射出された放射線のうち、地盤の構成原子と相互作用しなかった放射線を検出するのに対して、散乱型R I試験は、地盤の構成原子と相互作用した放射線を検出するものである。

散乱型R I試験は、線源棒の挿入孔も必要なく純然たる非破壊法である。本試験で用いた試験装置は、ガンマ線（密度）測定において従来から行われている全エネルギー法ではなく、エネルギー分別を行い、特定のエネルギー範囲

（50～200keV）の散乱ガンマ線を得ることで測定精度の向上を図ったものである。さらに、較正曲線を作成するときに、地盤と試験装置の空隙量を考慮することにより、空隙の影響を除去する工夫がなされている。但し、その適用にあたっては、透過型R I試験と同様に較正試験を確実にを行い、数年ごとに線源検査を行なう必要がある。試験原理図を図-5.3に示す。

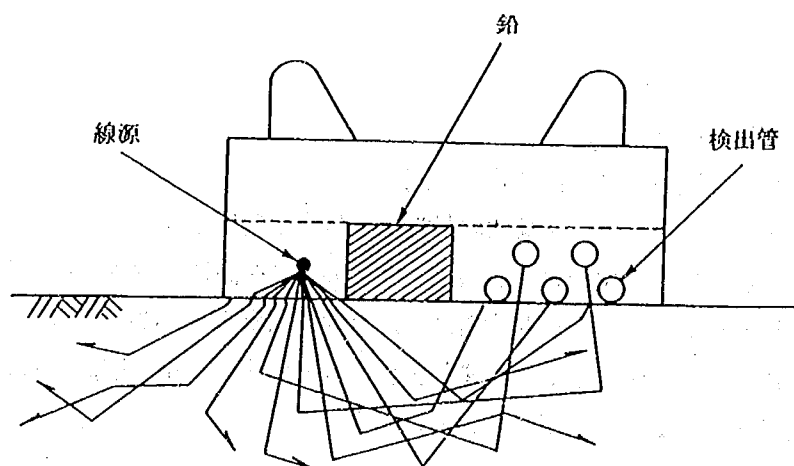


図-5.3 散乱型R I試験

④ 電磁波法による土の密度試験

本試験は、土の内部を伝播する電磁波の速度が、土の含水比と乾燥密度に影響されることから、電磁波の伝播速度と含水比を測定し土の密度を推定しようとするものである。含水比は、水分に影響を受け

ない近赤外線と物質に吸収される波長光を等しくあて、反射してくる両波長光のエネルギー比率から水分値に置換する方法で求める。こうして測定された含水比と電磁波の伝播速度を、あらかじめ求められている土の比重、土粒子の比誘電率、水の誘電率、空気の誘電率と組み合わせることにより、土の密度の測定を可能としたものである。試験原理図を図-5.4に示す。

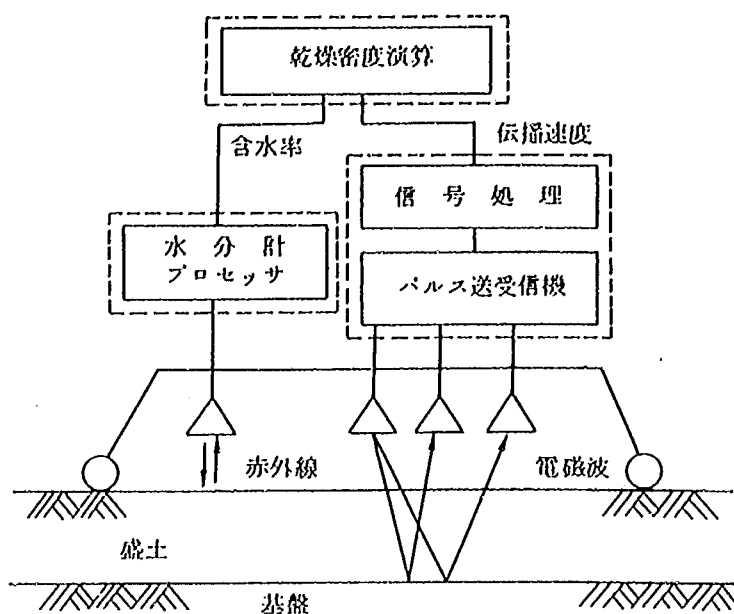


図-5.4 電磁波法による土の密度試験

2) 強度管理試験

① 平板載荷試験

本試験は、原位置に載荷装置及び測定装置を設置し、鋼製円形の載荷板を通して載荷を行い、地盤係数を求めるものである。試験法の詳細は、日本工業規格 J I S A 1215「道路の平板載荷試験方法」に記載されている。平板載荷試験は、地盤の強さを直接に評価することが可能な試験であるが、載荷作業に時間を要すること、載荷するにあたり大きな反力を必要とすることなど幾つかの問題を拘えており、土の締固め管理試験としてはあまり実施されておらず、主に地盤反力係数や極限支持力などの地盤の支持特性を確認するために用いられている。

② 現場 C B R 試験

本試験は、原位置に載荷装置および測定装置を設置し、標準寸法の貫入ピストンを土の中に貫入させるのに必要な荷重強さを測定して、地盤支持力の大小を判定しようとするものである。試験法の詳細は、日本工業規格 J I S A 1221「路床土支持力比 (C B R) 試験方法」に記載されている。現場 C B R 試験は、粘土から礫に至るほとんどすべての土に利用できるという適用の広さがあり、諸外国においても C B R 試験あるいはこれに類する試験が正式に採用されている事例が多い。しかし、平板載荷試験と同様に、載荷作業に時間を要すること、載荷するにあたり反力を必要とすることなど幾つかの問題を拘えている。

③ 重錘（インピーダンスヘッド）落下試験

本試験は、加速度計と荷重計を取り付けた重錘（インピーダンスヘッド）を地盤に落下させ、この時の衝撃加速度と衝撃力から地盤の強さを推定するものである。一般に、衝撃加速度と衝撃力は土の締固め程度と関係があると考えられることから、地盤の応答特性を調べ、機械的インピーダンスに換算して、これを締固め程度の新たな指標としている。なお、ここでいう機械的インピーダンスとは、衝撃力 F と衝撃速度 V の比で表される土と重錘の接触インピーダンス（ $Z = F/V$ ）をさしている。試験原理図を図-5.5に示す。

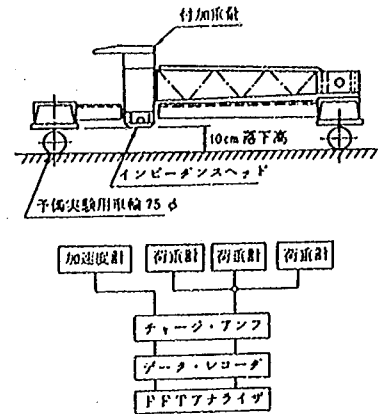


図-5.5 重錘落下試験

④ 衝撃加速度試験

本試験は、加速度計を内蔵したランマを地盤に自由落下させ、このときの衝撃加速度から地盤の強さを推定するものである。衝撃加速度試験は、重錘落下試験と同様に、衝撃加速度が土の締固め程度と関係があるという前提で行う試験である。しかし、重錘落下試験と比べて、その測定装置は複雑なものを必要とせず、装置の小型化が可能である。試験原理図を図-5.6に示す。

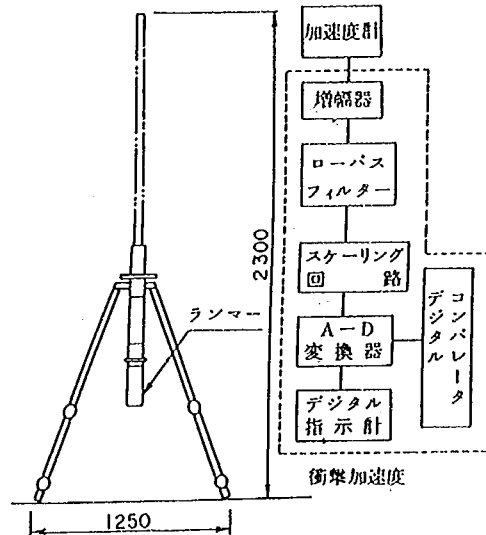


図-5.6 衝撃加速度試験

⑤ 球体落下式簡易CBR試験

本試験は、CBRを現場で簡易に求めるために考案されたもので、一定重量、一定直径の球体を所定の高さより地盤に落下させ、その時に生じる地盤のくぼみの大きさ（D値）からCBRを推定するものである。なお、今回実施した試験においては、ノギスを用いてD値の測定を行い、さらにはノギスによる沈下量の測定も行った。試験原理図を図-5.7に示す。

5.4 構内実験

5.4.1 施工管理試験装置の適用性実験

本実験は、近畿地方建設局近畿技術事務所構内で行われたもので、施工管理試験装置の適用性について

て調査したものであり、地盤条件の異なる5つのケースを対象としたものである。

1) 実験地盤の作成

実験地盤は、堅固な地盤上に、十分に締固めた厚さ30cmの基礎地盤（実験材料と同じ材料を使用）を作成し、その基礎地盤上に実験材料を厚さ30cmで敷均して、振動ローラあるいはタイヤローラにより、所定の締固め回数で締固め作業を行い作成した。実験地盤の概要図を図-5.8に、実験材料の室内試験結果を表-5.1に、施工仕様を表-5.2に示す。

実験は、ひとつの地盤を20分割（長軸方向5分割×短軸方向4分割）し、20点の施工管理試験を行い実施した。実際の実験では、14種類の施工管理試験を行っているが、ここでは試験結果の良い施工管理試験および特徴的な施工管理試験を9種類とりあげ報告する。表-5.3に本報告でとりあげた施工管理試験の一覧を示す。

2) 密度管理試験結果

本実験では、透過型R I試験、散乱型R I試験、電磁波法による土の密度試験をとりあげ、現行の施工管理試験である砂置換法による土の密度試験結果との相関を調べた。その相関図を図-5.9～図-5.11に示す。

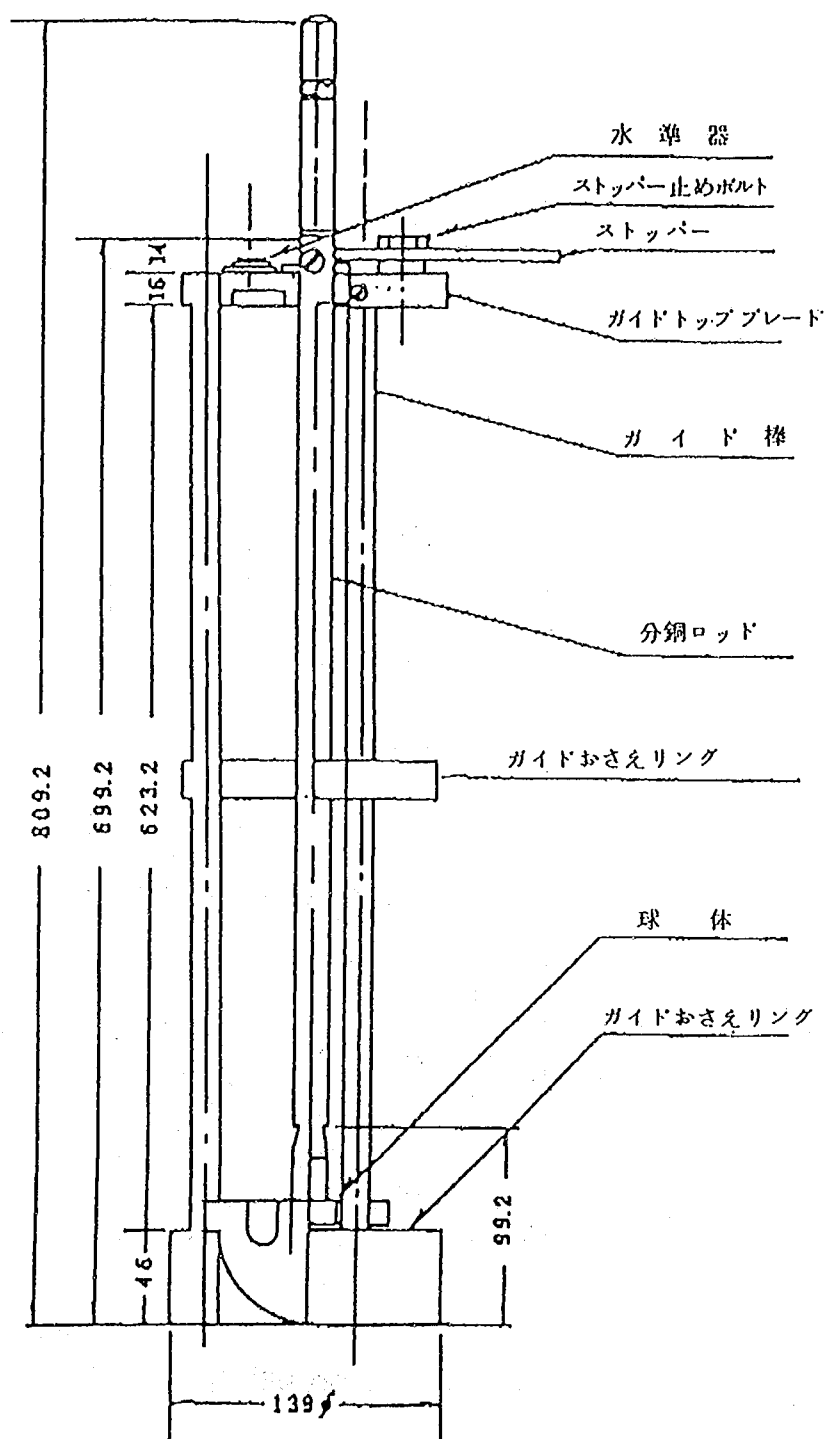


図-5.7 球体落下式簡易CBR試験

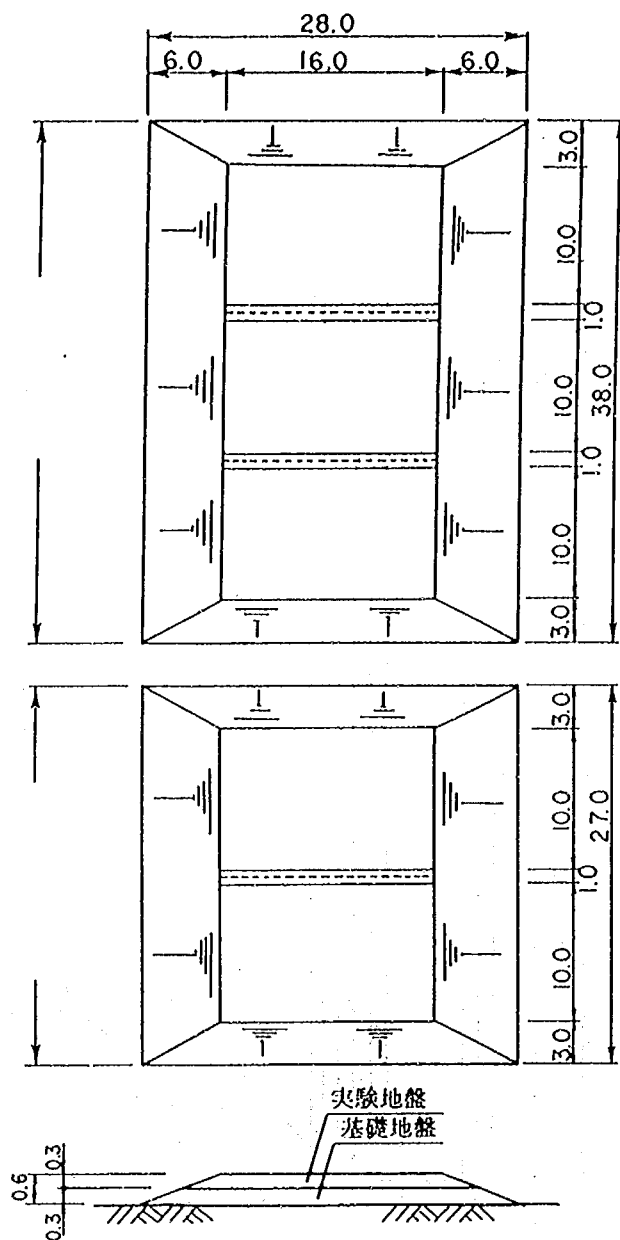


図-5.8 実験地盤の概要図

表-5.1 室内試験結果

実 験 材 料		砂 質 土	粘 性 土
粒 度 特 性	礫 分 (%)	29.0	13.6
	砂 分 (%)	57.3	50.8
	シルト 分 (%)	10.7	30.6
	粘土 分 (%)	3.0	5.0
	最大粒径 (mm)	9.52	50.8
コン シ ン シ	液性限界 (%)	—	42.5
	塑性限界 (%)	—	23.2
	塑性指数 I _p	NP	19.3
土 粒 子 の 比 重		2.721	2.707
自 然 含 水 比 (%)		10.4	19.7
縮 固 特 性	最適含水比 (%)	11.5	14.6
	最大乾燥密度	1.967	1.792

表-5.2 施 工 仕 様

実験地盤	締固め機械	施 工 仕 様
砂 質 土 1	振 動 ロ ー ラ	無振動1往復+振動8往復
砂 質 土 2	振 動 ロ ー ラ	無振動1往復+振動2往復
砂 質 土 3	振 動 ロ ー ラ	無振動1往復
粘 性 土 1	タ イ ヤ ロ ー ラ	4・往 復
粘 性 土 2	タ イ ヤ ロ ー ラ	締固めは行わない

表-5.3 施工管理試験一覧

試 験	試 験 の 種 類
密度 管理 試験	砂置換法による土の密度試験
	透過型 R I 試験
	散乱型 R I 試験
	電磁波法による土の密度試験
強度 管理 試験	平板載荷試験
	現場 C B R 試験
	重錘落下試験
	衝撃加速度試験
	球体落下式簡易 C B R 試験

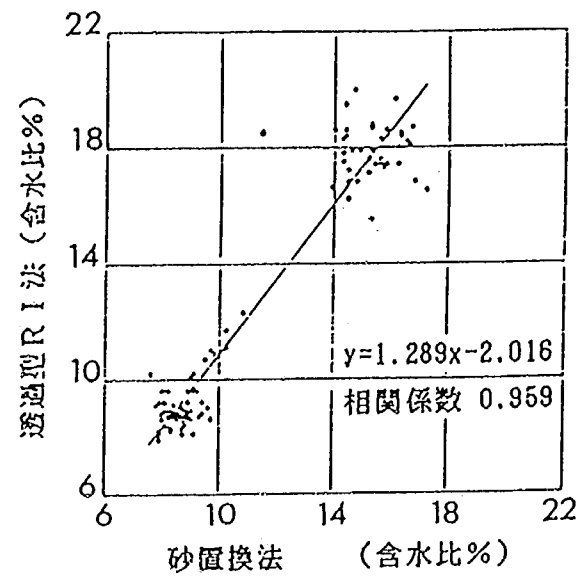
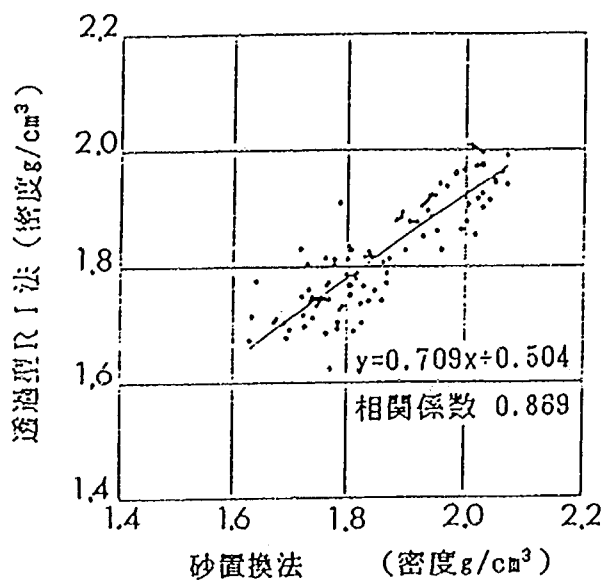


図-5.9 砂置換法による土の密度試験と透過型 R I 試験の相関

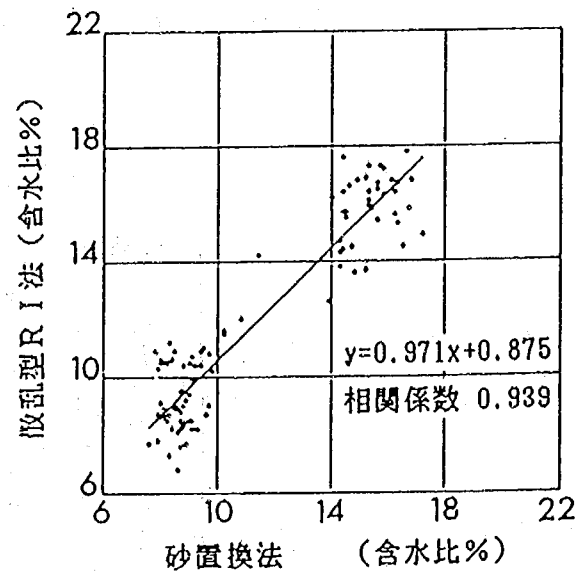
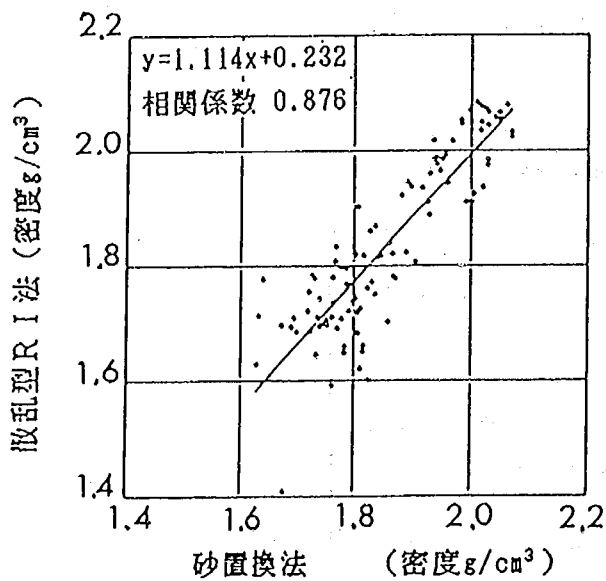


図-5.10 砂置換法による土の密度試験と散乱型 R I 試験の相関

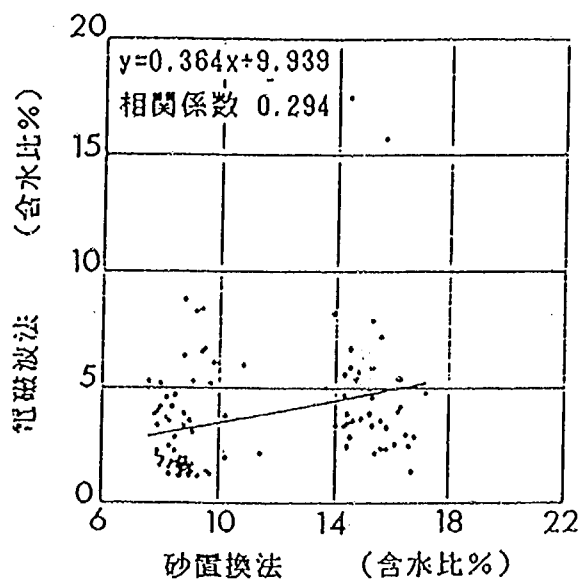
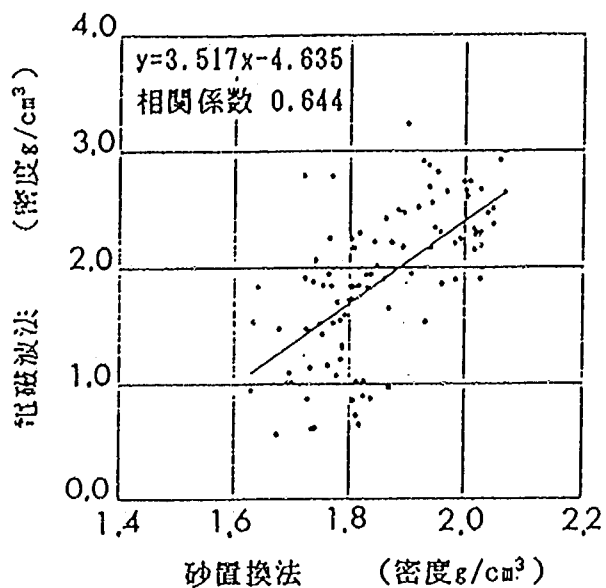


図-5.11 砂置換法による土の密度試験と電磁波法による土の密度試験の相関

3) 強度管理試験結果

本実験では、3種類の新しい強度管理試験をとりあげ、従来法である平板載荷試験、現場CBR試験との相関を調べた。その相関図を図-5.12～図-5.14に示す。

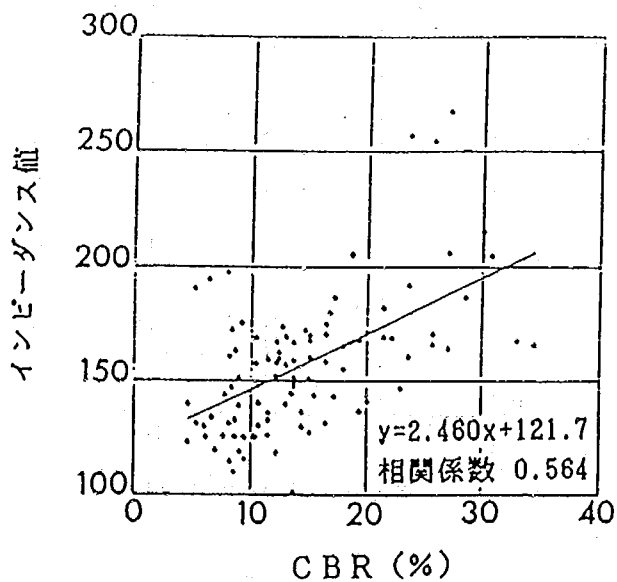
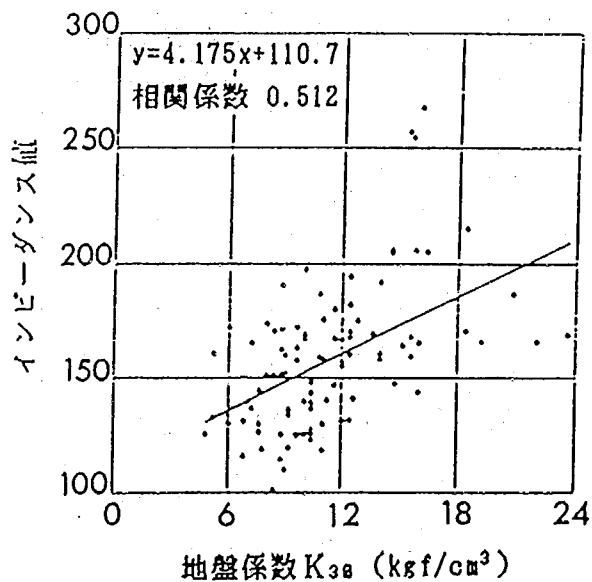


図-5.12 平板載荷試験、現場CBR試験と重錘（インピーダンスヘッド）落下試験の相関

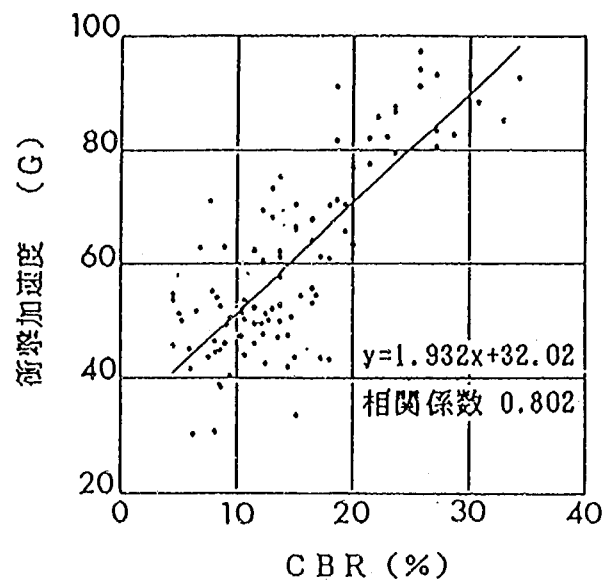
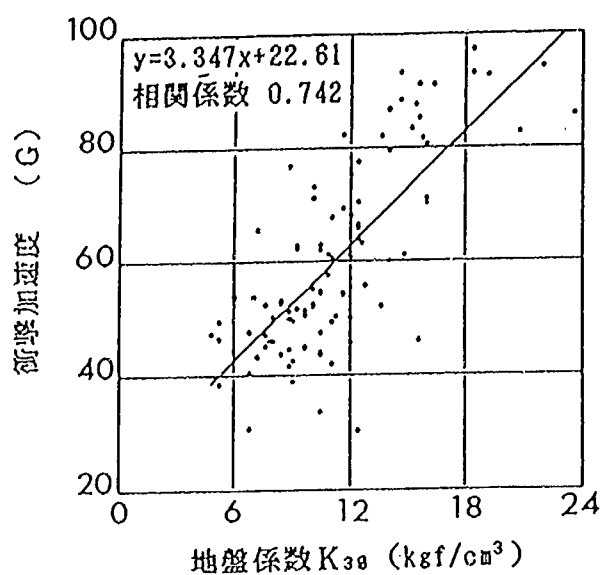


図-5.13 平板載荷試験，現場CBR試験と衝撃加速度試験の相関

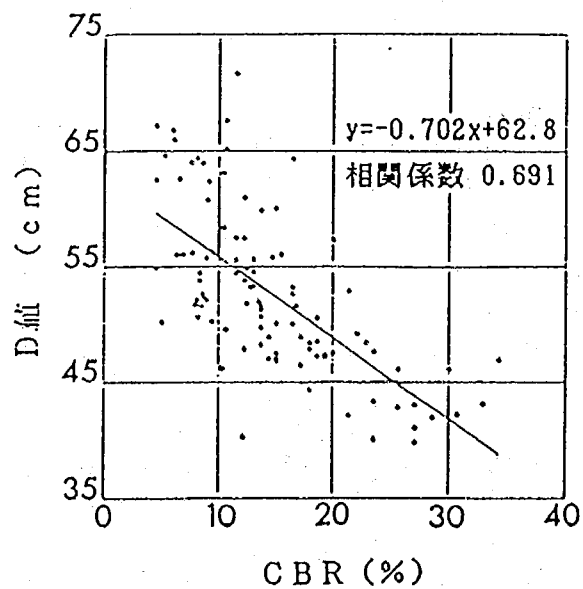
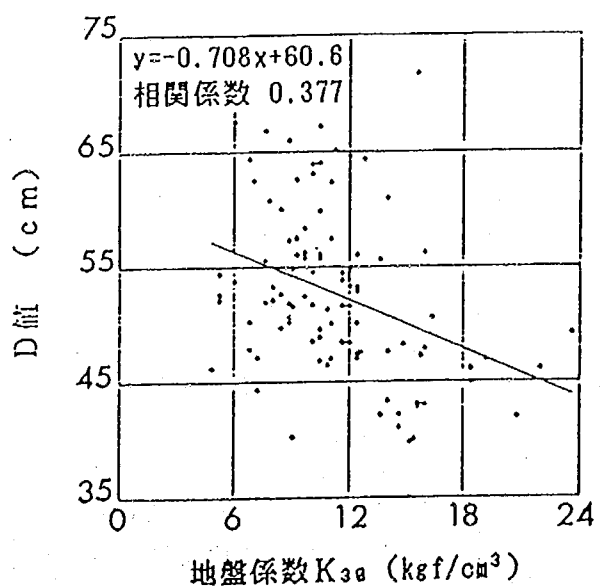


図-5.14 平板載荷試験，現場CBR試験と球体落下式簡易CBR試験の相関

5.4.2 施工管理基準に関する品質管理実験

本実験は、東北地方建設局東北技術事務所構内で行われたもので、施工管理における品質管理手法について調査したものであり、地盤条件の異なる3つのケースを対象としたものである。

1) 実験地盤の作成

実験地盤は、堅固な地盤上に、十分に締固めた厚さ30cmの基礎地盤（実験材料と同じ材料を使用）を作成し、その基礎地盤上に実験材料を厚さ30cmで敷均し、ブルドーザにより、所定の締固め回数で締固め作業を行い作成した。実験地盤の概要図を図-5.15に、実験材料の室内試験結果を表-5.4に、施工仕様を表-5.5に示す。

実験は、ひとつの地盤を60分割（長軸方向12分割×短軸方向5分割）し、所定の測定点数で施工管理試験を行い実施した。実際の実験では、10種類の施工管理試験を行っているが、ここでは試験結果の良い施工管理試験および特徴的な施工管理試験を8種類とりあげ報告する。表-5.6に本報告でとりあげた施工管理試験の一覧を示す。

2) 密度管理試験結果

本実験では、砂置換法による土の密度試験、透過型RI試験、散乱型RI試験

をとりあげ、地盤のばらつきを把握するために、確率密度関数によるとりまとめを行った。図-5.16～図-5.18に確率密度関数によるとりまとめ結果を示す。ここで言うばらつきとは、地盤のばらつきの中に測定装置の系統誤差、偶然誤差を含んだものである。

試験結果は、密度、含水比ともに同一地盤であれば、どの試験装置もほぼ等しい分散を持ち、透過型RI試験、散乱型RI試験は従来法（砂置換法による土の密度試験）と同等の精度を持つことが確認された。しかし、実験材料別の平均値は試験装置が異なると完全には一致せず、その適用にあたっては十分な較正試験を行なう必要がある。

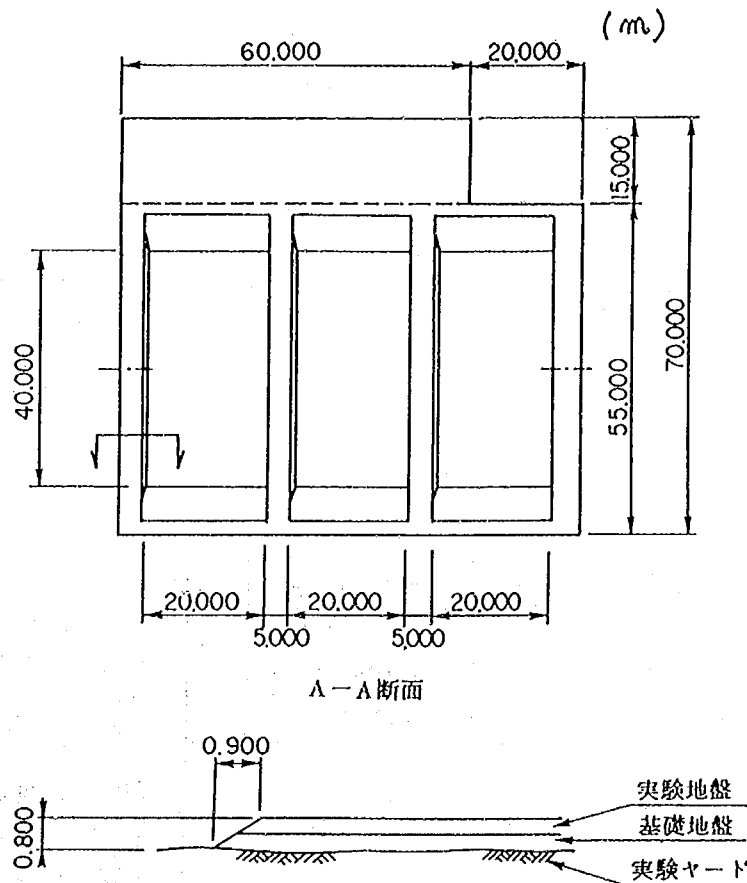


図-5.15 実験地盤の概要図

表-5.4 室内試験結果

実 験 材 料		砂 質 土	礫 質 土	粘 性 土
粒 度 特 性	礫 分 (％)	0.0	41.1	5.6
	砂 分 (％)	92.4	31.0	17.3
	シ ル ト 分 (％)	7.6	16.1	37.4
	粘 土 分 (％)		14.0	39.8
	最 大 粒 径 (mm)	4.76	150.0	25.4
コ ン シ テ ン シ	液 性 限 界 (％)	—	44.6	73.6
	塑 性 限 界 (％)	NP	29.2	33.0
	塑 性 指 数 I _p	--	15.4	40.5
土 粒 子 の 比 重		2.657	2.656	2.671
自 然 含 水 比 (％)		21.8	19.4	33.0
締 固 特 性	最 適 含 水 比 (％)	27.0	21.0	31.4
	最 大 乾 燥 密 度	1.411	1.630	1.368

表-5.5 施 工 仕 様

実験地盤	締固め機械	施 工 仕 様
砂質土4	ブルドーザ	5回程度の締固め
礫質土1	ブルドーザ	5回程度の締固め
粘性土3	ブルドーザ	5回程度の締固め

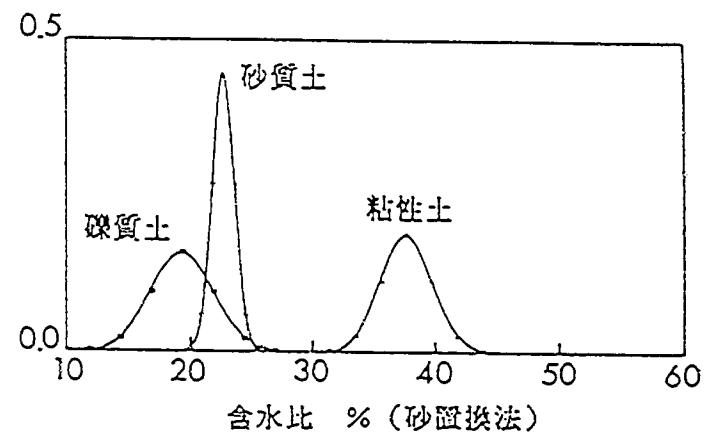
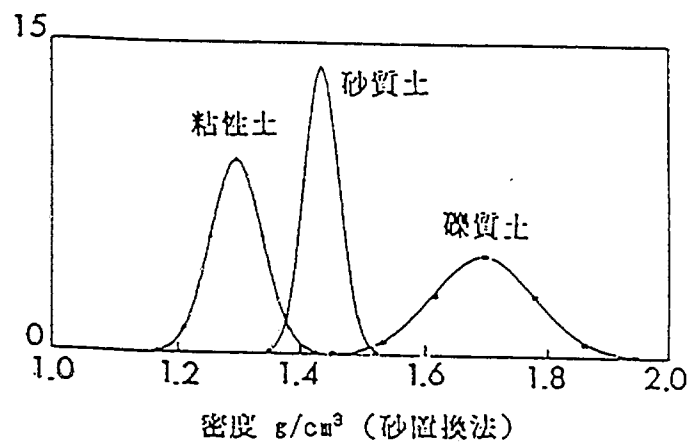
表-5.6 施工管理試験一覧

試 験	試 験 の 種 類
密 度 管 理 試 験	砂置換法による土の密度試験
	透過型 R I 試験
	散乱型 R I 試験
強 度 管 理 試 験	平板載荷試験
	現場 C B R 試験
	重錘落下試験
	衝撃加速度試験
	球体落下式簡易 C B R 試験

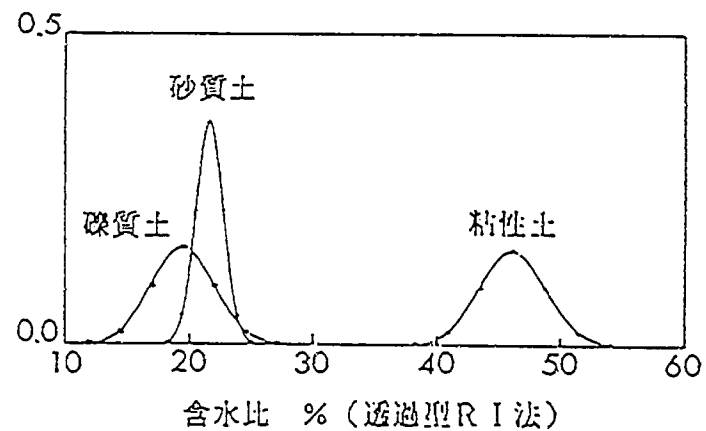
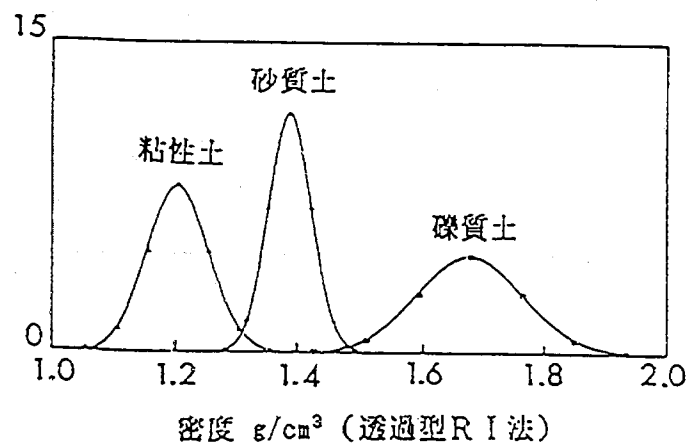
3) 強度管理試験結果

本実験では、表-5.7に示す強度管理試験をとりあげ、実験材料別に平均値、標準偏差を求めることにより、その大小関係から施工管理試験としての適用性について検討した。

試験結果は、平均値、標準偏差ともに試験方法により大小関係が異なる結果となった。これは、強度管理試験の指標の不一致が原因のひとつと考えられ、指標の一致している密度管理試験では大小関係がすべて同じになっている。こうした理由により、強度に関する定義を一致させるか、その使用目的を明らかにすることがこれからの強度管理試験に求められる。また、その適用にあたっては使用目的にそって十分な較正試験を行なう必要がある。



図－5.16 砂置換法による土の密度試験のばらつき（確率密度関数）



図－5.17 透過型 R I 試験のばらつき（確率密度関数）

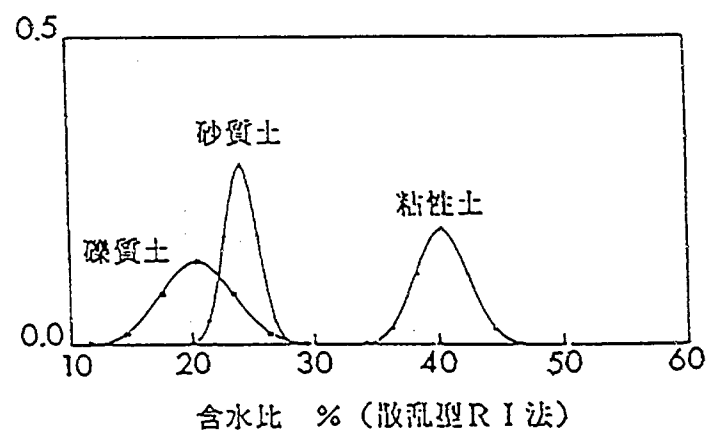
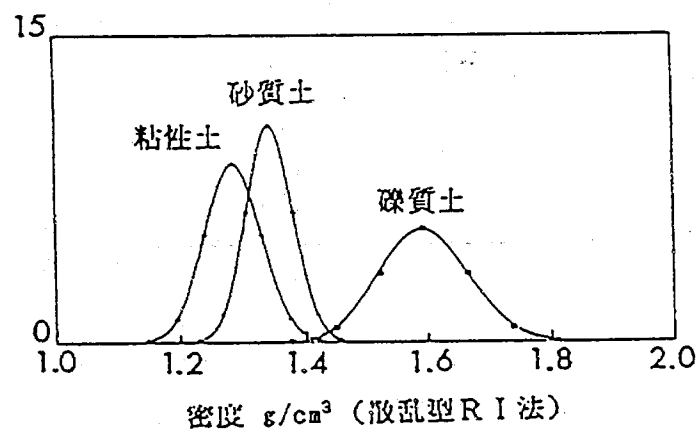


図-5.18 散乱型 R I 試験のばらつき (確率密度関数)

表-5.7 強度管理試験結果

試験の種類	実験材料	点数	平均値	標準偏差	備 考
平板載荷試験 (地盤係数)	砂質土	20	4.878	0.851	平均値 砂質土>粘性土>礫質土 標準偏差 粘性土>砂質土>礫質土
	礫質土	20	1.416	0.657	
	粘性土	20	3.808	1.145	
現場CBR試験 (CBR)	砂質土	30	6.050	1.830	平均値 粘性土>砂質土>礫質土 標準偏差 粘性土>礫質土>砂質土
	礫質土	30	5.827	2.123	
	粘性土	30	7.213	2.276	
重錘落下試験 (インピーダンス値)	砂質土	60	101.56	13.75	平均値 砂質土>粘性土>礫質土 標準偏差 礫質土>砂質土>粘性土
	礫質土	60	91.71	16.39	
	粘性土	60	92.19	12.38	
衝撃加速度試験 (衝撃加速度)	砂質土	60	44.62	4.28	平均値 砂質土>粘性土>礫質土 標準偏差 礫質土>粘性土>砂質土
	礫質土	60	27.71	5.78	
	粘性土	60	34.29	4.71	
球体落下式 簡易CBR試験 (D値)	砂質土	60	10.08	1.77	平均値 礫質土>粘性土>砂質土 標準偏差 礫質土>砂質土>粘性土
	礫質土	60	12.77	1.95	
	粘性土	60	11.60	1.30	
〔参考〕 砂置換法による土の 密度試験 (密度)	砂質土	30	1.437	0.029	平均値 礫質土>砂質土>粘性土 標準偏差 礫質土>粘性土>砂質土
	礫質土	30	1.700	0.082	
	粘性土	30	1.298	0.043	
〔参考〕 透過型RI試験 (密度)	砂質土	60	1.386	0.035	平均値 礫質土>砂質土>粘性土 標準偏差 礫質土>粘性土>砂質土
	礫質土	60	1.679	0.085	
	粘性土	60	1.204	0.050	
〔参考〕 散乱型RI試験 (密度)	砂質土	60	1.345	0.038	平均値 礫質土>砂質土>粘性土 標準偏差 礫質土>粘性土>砂質土
	礫質土	60	1.595	0.072	
	粘性土	60	1.286	0.046	

5.4.3 施工管理試験装置および施工管理基準に関する検討

この検討は、施工管理の合理化に関する調査に基づいて行ったものである。施工管理試験装置に関しては、各種施工管理試験の正確度・精密度を比較し、従来法との相関を調べることで、新しい試験装置の施工管理への適応性について検討を行った。施工管理基準に関しては、分散分析等を行うことにより、地盤の締固め程度がばらつく要因と考えられる土質や施工方向についての検討と、施工管理を行う測定密度（単位面積あたりの必要測定点数）についての検討を行った。以下、検討結果について報告する。

1) 施工管理試験装置についての検討

(1) 正確度・精密度について

施工管理試験装置についての検討を行なう上で、正確度（評価の対象となる試験法で得られた乾燥密度の平均値と砂置換法による土の密度試験で得られた乾燥密度の平均値との差の絶対値）により平均値のかたよりを評価し、精密度（評価の対象となる試験法で得られた乾燥密度の標準偏差との砂置換法に

よる土の密度試験で得られた乾燥密度の標準偏差との比)により試験結果の散布度合いについて評価した。

透過型R I 試験は、盛土材料、締固め程度にかかわらず、乾燥密度、含水比ともに高い正確度、精密度を得ることができた。特に、粘土性において良好な結果が得られている。

散乱型R I 試験は、正確度においては透過型R I 試験と同等な結果が得られたが、精密度においては透過型R I 試験よりやや劣る結果となった。

電磁波法による土の密度試験は、他の試験と比べて正確度、精密度ともに大きく劣る結果となった。これは、近赤外線による含水比の測定が地盤の表面部分に限定されることや、電磁波の通過距離の測定精度が原因と考えられる。そこで、透過型R I 試験で計測した含水比の平均値を用いて結果の補正を試みたが、地盤別の特徴を得ることができず、全体的にバラツキの多い結果となった。しかし、締固め程度の相対的な差は認められた。

以上の結果をまとめると、次のようになる。

・乾燥密度

正確度…平均値のかたよりの大きさ

砂質土：散乱型<透過型<電磁波

粘性土：透過型<散乱型<電磁波

精密度…散布度合の大きさ

砂質土：砂置換<透過型<散乱型<電磁波

粘性土：透過型<砂置換<散乱型<電磁波

・含水比

正確度

砂質土：透過型<散乱型<電磁波

粘性土：散乱型<透過型<電磁波

精密度

砂質土：砂置換<透過型<散乱型<電磁波

粘性土：透過型<砂置換<散乱型<電磁波

(2) 従来法（砂置換法による土の密度試験）との相関

従来法との相関の大小を表-5.8のように3段階で区分し、評価を試みた。表-5.9に評価結果を示す。評価結果から、

①透過型R I 試験、散乱型R I 試験は両方とも従来法との相関が高く、両試験の相関の差はあく僅かであること

②電磁波試験は、正の相関が認められたことの2つの事項が確認された。

(3) 検討結果

今回の調査結果における検討結果より、次のことが確認された。

・密度管理試験

① 透過型R I 試験は、従来法（砂置換法による土の密度試験）と同等の試験精度を得ることができ、施工管理試験としての適用は十分に可能である。

② 散乱型R I 試験は、精度的には透過型

表-5.8 相関係数による評価方法

相関係数の範囲	評 価	
	相関性が低い	低い
0.5 未満	相関性がある	中 位
0.5 ~ 0.8	相関性が高い	高 い
0.8 以上		

R I 試験に劣るものの、その差は僅かであり、較正試験を厳密に行えば施工管理試験としての適用は十分に可能である。

③ 電磁波法による土の密度試験は、現状のままでは施工管理への適用が困難である。しかし、その測定範囲、試験装置の取り扱い等を考慮するとその将来性は十分にあると考えられる。

・強度管理試験

強度管理試験については、強度の指標が一致していないことなどの理由により、今回の調査結果だけでは試験精度、施工管理への適用性について優劣をつけることができなかった。しかし、従来法（平板載荷試験、現場 C B R 試験）は、載荷作業に時間を要すること、載荷するにあたり大きな反力を必要とすることなど幾つかの問題を拘えており、重錘を落下させてその衝撃を指標とするような簡易な試験方法が指向されと考えられる。

・施工管理試験

現在、施工管理に使用されている砂置換法による土の密度試験は、①充填不均一、②置換砂の検定誤差、③粘性土地盤における試験孔の大きさの変化、④測定時間、⑤破壊試験、⑥個人誤差など測定誤差を生じる要因がある。一方、新しい試験法である透過型 R I 試験、散乱型 R I 試験は、個人誤差が少なく、リアルタイムに結果が得られる非破壊試験またはそれに近い試験であるため、同一箇所での繰り返し測定が可能である。また、一部の施工管理試験は走行しながらの連続測定が可能である。今後は、このような特徴を生かし、従来の抜き取り検査から全数検査的な管理手法を指向し、施工管理の合理化を検討すべきであろう。

2) 施工管理基準に関する検討

土工の施工管理を行なう場合、地盤の特性を把握し、その特性に合った合理的な施工管理、品質管理手法を定める必要がある。ここでは、このようなことを踏まえ、地盤特性の把握を次に示すような3つの観点から検討した。

① 締固め程度による地盤特性の把握

② 地盤のばらつきに影響を及ぼす要因の把握

③ 合理的な測定密度（単位面積当りの必要測定点数）の把握

(1) 地盤の転圧の影響による特性

締固め程度の差による地盤の変動を調べるために近畿地方建設局における実験結果のうち、透過型 R I 試験による地盤ごとの乾燥密度を確率密度関数により表した。図-5.19に確率密度関数を示す。これより、乾燥密度は粘性土地盤、砂質土地盤ともに締固め回数の増加にともない増加することがわかる。地盤の分散については、締固め程度が小さい場合（砂質土3、粘性土2）は、土質に関係なく同じ程度である。しかし、締固めを行うに従い砂質土の分散は小さくなるが、粘性土の分散はほとんど変化して

表-5.9 評価結果

試験名	乾燥密度	含水比
透過型 R I 試験	高い	高い
散乱型 R I 試験	高い	高い
電磁波法による土の密度試験	中位	低い

いない（砂質土1，砂質土2，粘性土1）。また，砂質土においても，ある程度以上の締固めを実施すると分散は変化しなくなっている（砂質土1，砂質土2）。このことは，一度，地盤の分散を把握しておせば，以降は平均値の確認を行うだけで施工管理を行なえる可能性があり，今後，リアルタイム計測による施工管理を実施する場合のひとつの方法になると考えられる。

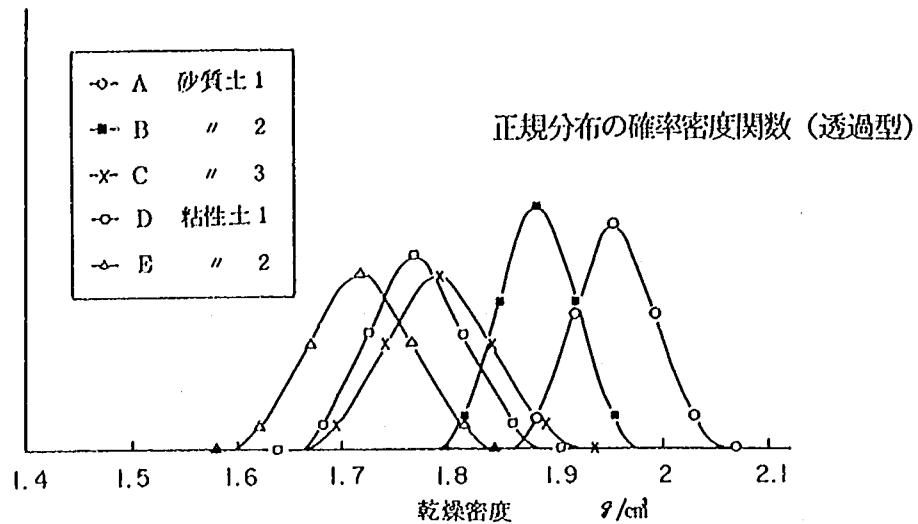


図-5.19 確率密度関数（近畿地建データ）

(2) 地盤のばらつきに影響を及ぼす要因の把握

測定値のばらつきの原因を明らかにするため，次に示す組合せによる2元配置法の分散分析を行なった。なお，分析には東北地方建設局で実施した実験結果を用いた。

- ① 土質と試験法による分散分析
- ② 締固め方向別（締固め方向に平行と直角）による分散分析

表-5.10に土質と試験法による2元配置分散分析結果を，表-5.11～表5.13に地盤別の透過型R I試験結果を用いた締固め方向別による2元配置分散分析結果を示す。

表-5.10 分散分析結果

No	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	影響の有無
1	要因 A	5.896	2	2.948	882.342	有（影響度，中）
2	要因 B	0.103	2	0.051	15.376	有（影響度，中）
3	要因 A B	0.244	4	0.061	18.221	有（影響度，中）
	誤差 E	0.872	261	0.003		
	合計	7.115	269			

要因A：土質の種類

要因B：測定機器の種類

表-5.11 分散分析結果

Aレーン(砂質土)

No	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	影響の有無
1	要因 A	0.029	5	0.006	7.963	有(影響度, 中)
2	要因 B	0.008	9	0.001	1.293	無
	誤差 E	0.032	45	0.001		
	合計	0.070	59			

要因A: 締固め方向に直角

要因B: 締固め方向に平行

表-5.12 分散分析結果

Bレーン(砂質土)

No	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	影響の有無
1	要因 A	0.018	5	0.004	0.391	無
2	要因 B	0.043	9	0.005	0.509	無
	誤差 E	0.422	45	0.009		
	合計	0.483	59			

要因A: 締固め方向に直角

要因B: 締固め方向に平行

表-5.13 分散分析結果

Cレーン(粘性土)

No	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	影響の有無
1	要因 A	0.034	5	0.007	3.203	有(影響度, 小)
2	要因 B	0.013	9	0.001	0.659	無
	誤差 E	0.095	45	0.002		
	合計	0.142	59			

要因A: 締固め方向に直角

要因B: 締固め方向に平行

表-5.10より、試験法の種類や土質の違いは計測結果のばらつきの原因となっているが、試験法の種類よりも土質の違いが計測値のばらつきにより強く起因していることがわかる。前述の分散が土質の種類により異なることと考え合わせると、現場においても土質を考慮した施工管理を行なう必要があると考えられる。

締固め方向とそれに直交する方向による分散の影響を分析した結果では、礫質土地盤の密度のばらつきについては締固め方向には影響を受けないことがわかる。しかし、砂質土地盤、粘性土地盤では、同一地盤内であっても締固め方向には地盤のばらつきはないと見なせるのに対し、締固め方向と直交する方向には地盤は不均一なものとなっており、計測方向により測定結果に影響があることがわかる。特に砂質土でその影響が大きい。このことは、測定頻度等の施工管理基準を考える場合のひとつの要因として、地盤を構成する土質によっては測定方向も考慮する必要があることを示している。

(3) 合理的な測定密度（単位面積当りの必要測定点数）の把握

測定密度の考え方としては、ある測定密度で計測したデータを基に推定した母集団の信頼区間が、母集団の標準偏差の範囲に収まれば、“その測定密度は施工管理に有効である”とするものである。

実際の作業は次のようにして行った。

まず、60点の測定値を母集団として、母集団の中から n 点のデータをランダムサンプリングし、 n 点のデータから母集団の分散推定（95%信頼区間、分散未知）を行う。推定した母集団の95%信頼区間の範囲と母集団の標準偏差（片側 1σ の範囲）との比を求めることにより測定密度を評価するものである。

図-5.20に検討結果を示す。これより、今回の $20 \times 40\text{m}$ 地盤では土質に関係なく、15点程度の測定を行えば良いことがわかる。これは約 53m^2 （約 7.3m 角）に1ヶ所の測定密度になる。

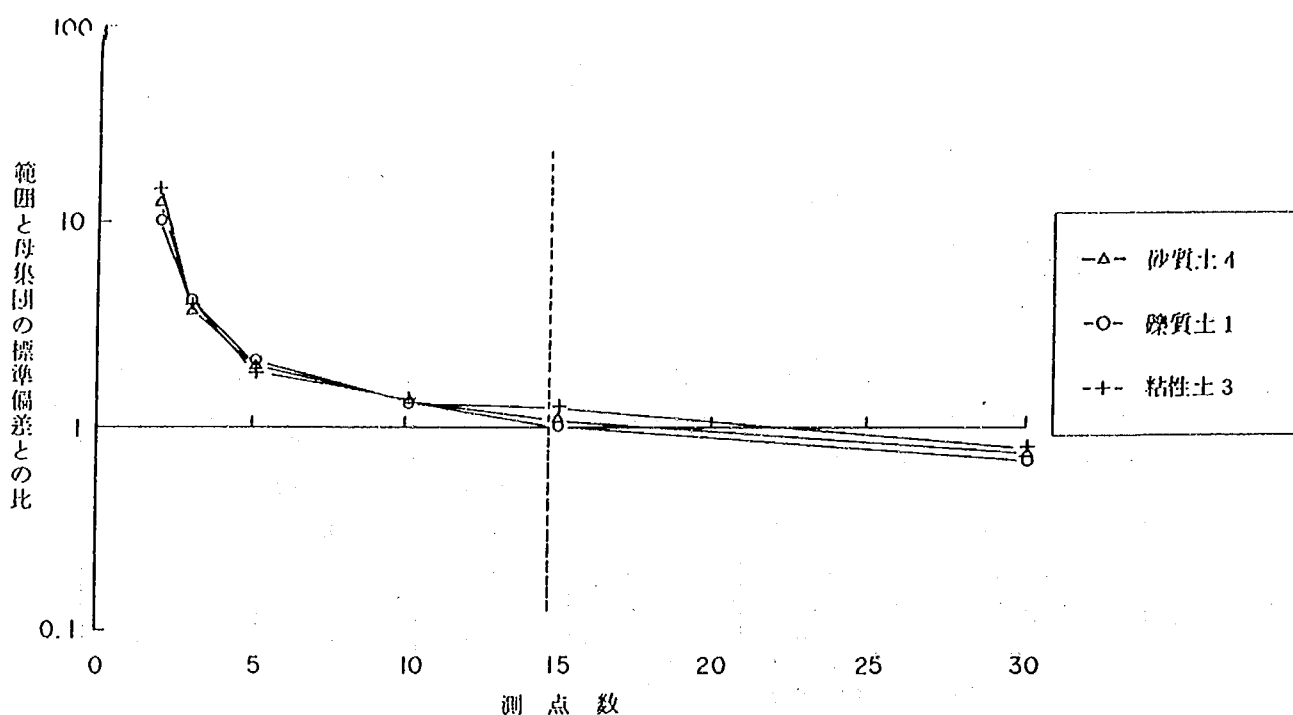


図-5.20 透過型乾燥密度（95%信頼区間の範囲とサンプリング数）

5.5 施工現場における実験結果

5.5.1 近畿地建における実験結果

昭和63年度に東北、及び近畿技術事務所構内で実施したフィールド実験の結果、礫質土に対する適応性に問題があることが判明した。近畿地方建設局では、礫質土に対する適応性を確認するため、礫質土を中心に管内4現場を抽出し、実現場における調査を実施した。

具体的な検討項目は、次のとおりである。

- ・砂置換法と透過型R I 試験、及び散乱型R I 試験との相関
- ・地盤のばらつきに影響を及ぼす要因の把握

1) 調査概要

調査は、次の4現場において実施した。

- ・天神改良(その3)工事 (以下、天神という。)兵庫県小野市天神町地先
- ・広角改良(その7)工事 (以下、広角という。)和歌山県新宮市広角地先
- ・城北築堤工事 (以下、城北という。)大阪府大阪市旭区
- ・田井改良工事 (以下、田井という。)滋賀県高島郡旭町田井地先

各工事に使用した盛土材料の室内試験結果を表-5.14に、施工仕様を表-5.15に示す。調査は、盛土地盤を60分割(縦方向20分割×横方向3分割)し、各点において施工管理試験を実施した。

2) 施工管理試験装置の現場適応性の評価

本調査では、透過型R I 試験、散乱型R I 試験の現場適応性の評価方法として、両R I 試験の試験結果と、現行の施工管理試験法である砂置換法による試験結果の相関を用いた。また、一部の機関で密度管理試験法として用いられている透過型R I 試験と、現在開発中の散乱型R I 試験の相関についても調べ、両R I 試験間の計測精度の比較も行った。乾燥密度の相関を図-5.21~図-5.24に、含水比の相関を図-5.25~図-5.27に示す。

表-5.14 室内土質試験結果

試 験 場 所		天 神	広 角	城 北	田 井
試 験 名	材 料 名	砂置換 砂質土	礫質土	礫質土	礫質土
土の含水量試験	自然含水比 w_n (%)	13.0	8.1	11.0	5.8
土粒子の比重試験	比重 G_s (t/m ³)	2.673	2.671	2.669	2.747
土の液性限界試験	液性限界 w_L (%)	NP	NP	NP	NP
土の粒度試験	最大粒径 (mm)	50.8	50.8	38.1	38.1
	均等係数 U_c	291.4	305.6	83.7	275.9
	曲率係数	2.8	2.3	3.5	12.0
	礫 分 (%)	53	62	32	68
締 固 め 試 験	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (t/m ³)	1.933	1.892	2.002	2.015
	最適含水比 w_{opt} (%)	11.2	11.6	8.3	8.4
C B R 試 験	C B R (%)	6.5	26.1	3.2	26.1

表-5.15 盛土施工仕様

種 類	工 区			
	天神	広 角	城北	田 井
盛土目目	河川土	河川土	購入土	購入土
(乾均し工)				
機体名称 (t)	ブクドーザ	ブクドーザ	ブクドーザ	ブクドーザ
機体重量 (cm)	14.1	25.7	15.5	14.1
厚 (仕上り)(cm)	30	30	30	30
(転圧工)				
機体名称	振動ローラ	振動ローラ	振動ローラ	振動ローラ
機体重量 (t)	10.4	25.7	15.5	12.75
振動圧 (kg/cm ²)	細振動 27.7 粗振動 138.1	0.86	0.63	—
転圧回数 (回)	4	4	4	4

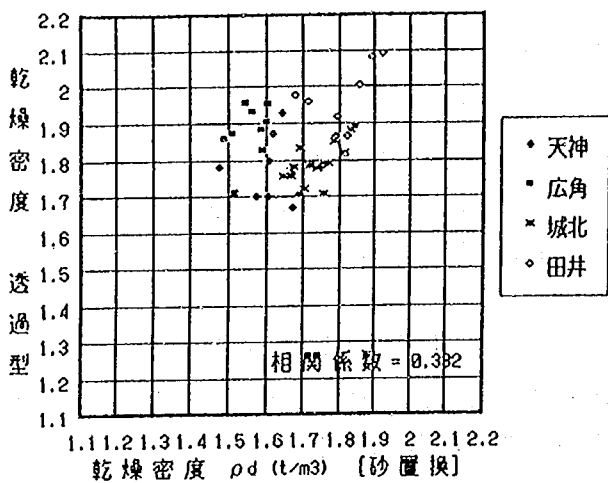


図-5.21 砂置換と透過型R Iの相関

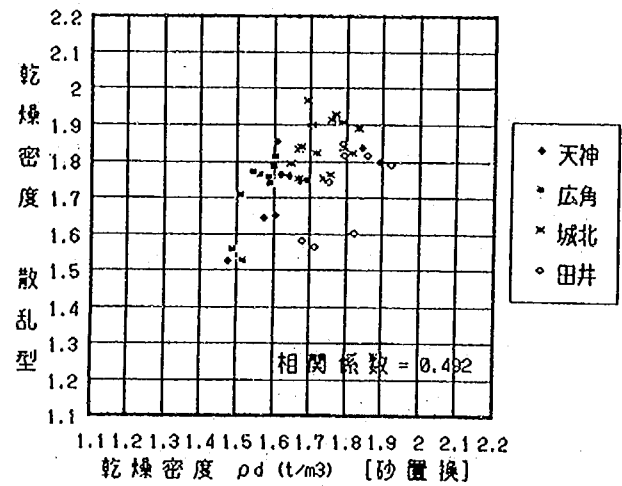


図-5.22 砂置換と散乱型R Iの相関

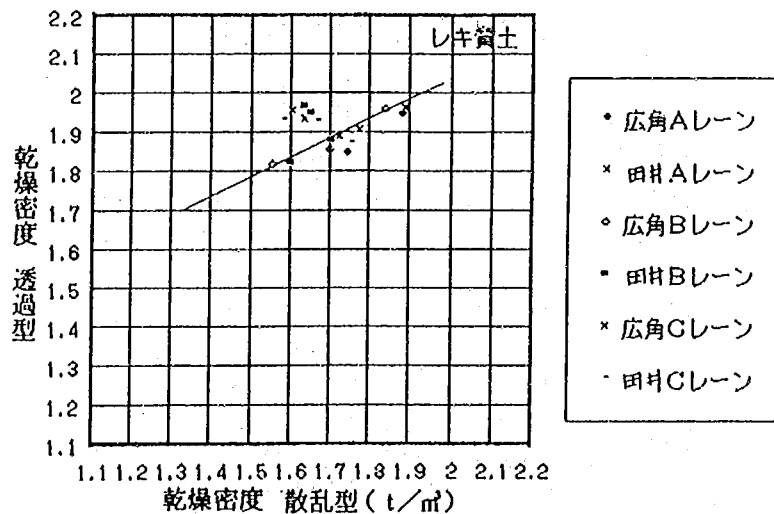


図-5.23 透過型R Iと散乱型R Iの相関

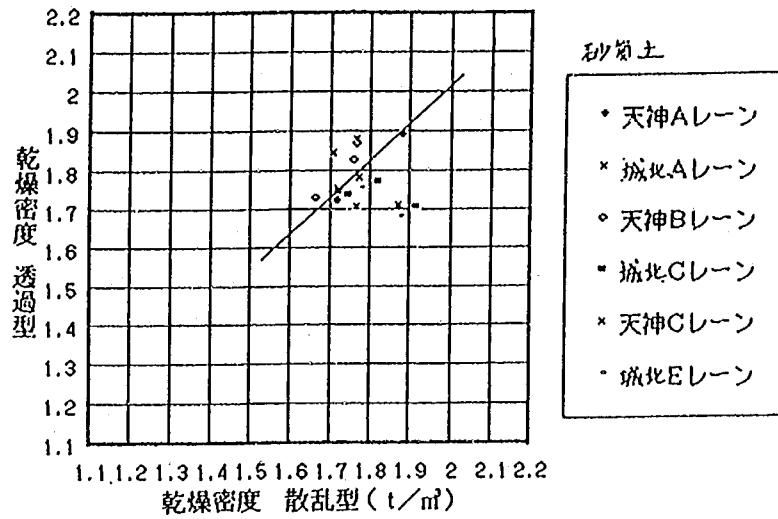


図-5.24 透過型RIと散乱型RIの相関

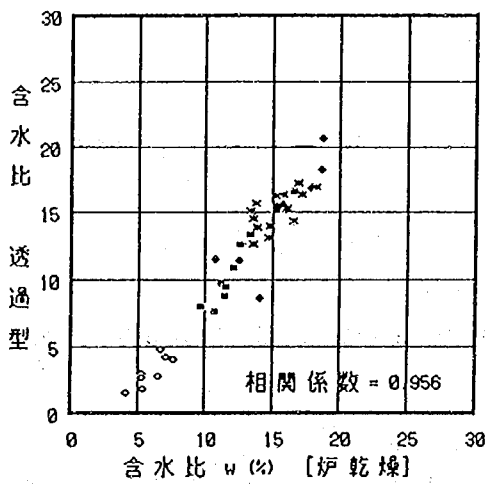


図-5.25 砂置換と透過型RIの相関

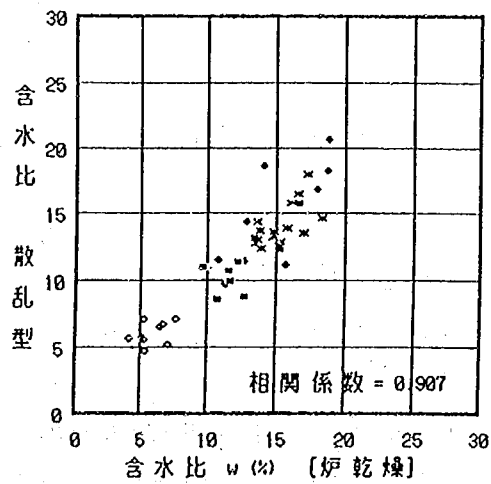


図-5.26 砂置換と散乱型RIの相関

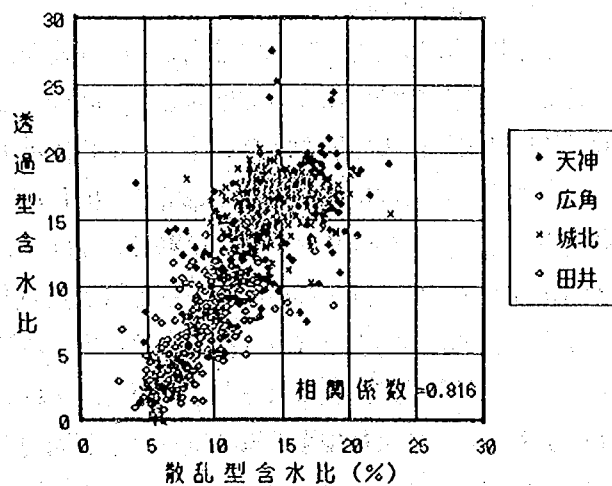


図-5.27 透過型RIと散乱型RIの相関 (含水比)

① 乾燥密度の相関

- a. 砂質土に比較して礫質土の相関は低い。特に、広角の測定結果のばらつきが大きい。(図-5.21)
- b. 透過型R I試験の値は、砂置換に比較して10~20%高い値を示した。礫率が高いほど高めの値がでる傾向にある。(図-5.21)
- c. 散乱型R I試験については、田井(礫質土)の結果のみが砂質土に比べ低い値を示している。これは、表面の凹凸などの測定条件の不安定さなどが原因と考えられる。その他の現場の結果は、ほぼ+7~8% (0.1~0.15 t/m³) の範囲に収まっている。(図-5.22)

② 含水比の相関

- ・図-5.25, 図-5.26より、含水比は乾燥密度に比較し含水比の測定範囲も広く、安定した結果を示している。両R I試験とも砂置換との相関はほぼ1:1に対応している。

③ R I試験間の相関

- a. 礫質土の運送密度では、密度が小さくなるほど「透過型>散乱型」の傾向がある。(図-5.23)
- b. 砂質土では、砂置換と同様の傾向を示し、ほぼ1:1に対応している。(図-5.24)
- c. 含水比の相関は非常に良好な結果を示している。(図-5.27)

以上の結果より、

- ・密度試験では相関の変動の要因は、土質>試験法の順となっており、土質別、試験別に管理基準を検討する必要がある。
- ・礫質土のように盛土材料による地盤のばらつきがある現場では、試験間の相関は良好ではない。
- ・礫質土では、測定場所のわずかな違いにより10%程度の変動が予想される。
- ・各試験法の特性に相違があり、基準値を得る試験法と日常の現場試験を同一の試験法で実施する必要があるといえる。

3) 施工管理基準に関する現場適応性の評価

施工管理基準に関しては分散分析を行うことにより、地盤の締固め程度がばらつく要因と考えられる土質や施工方向について検討を行った。検討には、透過型R I試験による計測結果を用いた。

① 地盤のばらつきに影響を及ぼす要因の把握

乾燥密度、含水比、空気間隙率を指標に各現場、層別に締固め方向(要因A)と、締固め方向と直角方向(要因B)の影響度合いを2元配置分散分析によって検討した。層別の2元配置分散分析結果を表-5.16に、3現場の各指標別、締固め方法による影響度合いを表-5.17に示す。

表-5.16の締固め方向とそれに直交する方向による分散の影響を分析した結果では、礫質土地盤の密度のばらつきについては、構内実験と同様に締固めの方向には影響を受けない傾向が見られた。

しかし、砂質土地盤では構内実験と異なり、同一地盤内であっても締固め方向と直交する方向だけでなく、締固め方向でも地盤のばらつきがある結果となり、構内実験と異なる結果が得られた。

構内実験と異なる結果が得られた原因として、次のようなことが考えられる。

- a. 現場測定では、試験法によるばらつきより現場地盤のばらつきが構内実験に比べて大きい。
- b. 現場測定では、構内実験に比べ、試験法によるばらつきよりも盛土材料の粒度のばらつき、含水比のばらつきが大きい。

c. 試験法によるばらつきより、施工法のばらつきが構内実験に比べて大きい。

構内実験における各試験間の相関は良好であったことから、透過型R I 試験、散乱型R I 試験の試験結果のばらつきは、現場の地盤状況を示しているものと考えられる。

② 締固め度管理と飽和度管理

締固め度と空気間隙率の関係を表-5.18に、空気間隙率と締固め土の関係を図-5.28に示す。これらの結果から次のようなことが確認された。

- 空気間隙率は砂質土で現状の管理基準値の10%を概ね満足し、また、最大でも15%以内に収まっており、管理基準値としての10%が妥当性のある値であることが確認された。
- 砂質土の締固め度は85%~95%の範囲に収まり、ほとんどの測定値が管理基準値85%を満足している。
- 礫質土では、空気間隙率の範囲が広く(25~10%)になっているが、締固め度は砂質土同様ほぼ85%を満足している。
- 礫質土では、空気間隙率と締固め度の関係が試験法により異なる傾向がある。これは、礫の影響の差、測定条件、低含水比などによる影響が考えられる。

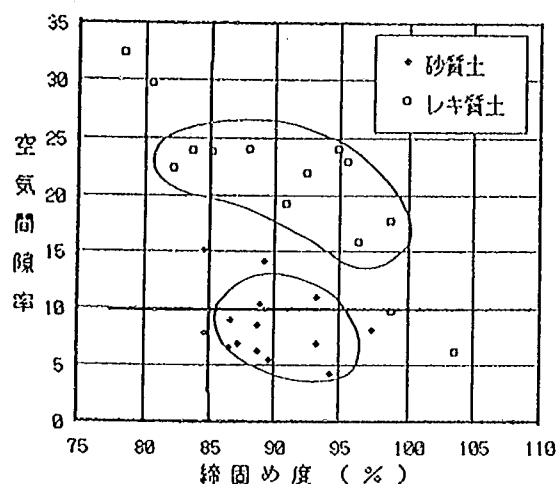


図-5.28 締固め度と空気間隙率

表-5.16 2元配置分散分析結果

通過型1層目						
NO	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	検定
1	要因A	0.170	2	0.085	10.117	††
2	要因B	0.444	19	0.023	2.790	††
	誤差E	0.319	38	0.008		
	合計	0.933	59			
通過型2層目						
NO	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	検定
1	要因A	0.015	2	0.007	3.668	†
2	要因B	0.105	19	0.008	2.724	††
	誤差E	0.077	38	0.002		
	合計	0.197	59			
通過型3層目						
NO	要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比	検定
1	要因A	0.005	2	0.003	0.603	
2	要因B	0.085	19	0.004	1.022	
	誤差E	0.187	38	0.004		
	合計	0.258	59			

要因A : 締固め方向 A~C列

要因B : 締固め方向に直交するブロック 1~20ブロック

表-5.17 締固め方向による影響の度合い

		天神		広角		田井	
		A	B	A	B	A	B
乾燥密度 (透過型RI)	1	※	※	※	※	—	—
	2		※	※	※	—	—
	3	—	—	—	—	—	—
乾燥密度 (散乱型RI)	1	—	—	—	※	—	※
	2	※	※	—	—	—	—
	3	※	※	—	—	—	—

注:①要因A:締固め方向A~C列

要因B:締固め方向に直交するブロック1~20ブロック

②※:影響度有り(5%の危険率)

※※:影響度が大きい(10%の危険率)

表-5.18 締固め度と空気間隙率

測定場所		透過型		散乱型		砂置換	
		締固め度	空気間隙率	締固め度	空気間隙率	締固め度	空気間隙率
天神 (砂質土)	1	93.11	6.78	89.13	14.19	84.89	15.11
	2	89.48	5.37	88.62	6.21		
	3	97.27	8.01	93.15	10.98		
広角 (レキ質土)	1	96.29	15.81	83.53	23.96	82.11	22.36
	2	98.62	17.68	90.82	19.24		
	3	103.46	6.09	98.70	9.71		
城北 (砂質土)	1	87.05	6.80	86.41	6.55	86.46	8.90
	2	88.62	8.51	88.80	10.36		
	3	84.55	7.78	94.18	4.23		
田井 (レキ質土)	1	95.44	22.91	78.32	32.34	88.00	24.04
	2	94.80	24.05	80.48	29.75		
	3	92.31	21.97	85.07	23.81		

5.5.2 東北地建における実験結果

構内試験で、有効性が確認された「透過型R I試験」及び「散乱型R I試験」について、施工現場での適応性を検証するため、管内の2工事現場を対象とし、調査試験を実施した。表-5.19に施工現場の調査概要を、表-5.20

に施工現場の調査結果を示す。

表-5.19 調査概要

1) 試験調査概要

① 西原道路改良第3

工事 福島県郡山市富田町西原地内（以下、「郡山」という）

項目 工事名	土質	調査項目	調査延長	調査層数	測定数量			測定頻度	締固め機械及び回数
					砂置換	透過型	散乱型		
郡山 西原道路	砂質土 (マサ土)	(m) 35	(m) 115	5	60	1,105	1,153	砂置換法 1回/400㎡ 透過型R I 1回/25㎡ 散乱型R I 1回/25㎡	16t タイヤローラー 縦断4回
岩手 平泉道路	レキ質土 凝灰質砂	30	130	5	60	945	1,080		18t タイヤローラー 縦横各2回
計			245	10	120	2,050	2,233		

表-5.20 調査結果

土質	層	従来（砂置換法）				透過型R I試験				散乱型R I試験			
		乾燥密度 (t/cd)		含水比 (%)		乾燥密度 (t/cd)		含水比 (%)		乾燥密度 (t/cd)		含水比 (%)	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
西原道路 砂質土 (マサ土)	1	1.635	0.165	12.84	2.03	1.731	0.091	12.74	3.34	1.672	0.127	13.96	3.05
	2	1.732	0.064	13.63	2.15	1.730	0.096	14.80	3.36	1.728	0.097	16.31	3.12
	3	1.679	0.072	13.40	2.74	1.693	0.066	14.21	2.09	1.682	0.092	14.74	3.11
	4	1.688	0.064	11.73	1.90	1.682	0.072	11.97	2.37	1.629	0.091	13.26	2.57
	5	1.688	0.068	10.51	1.94	1.728	0.097	10.83	2.46	1.744	0.100	11.25	2.81
	平均	1.684	0.087	12.42	2.15	1.713	0.084	12.91	2.93	1.691	0.101	13.90	2.93
平泉道路 レキ質土 (凝灰質砂)	1	1.438	0.056	24.92	0.71	1.477	0.055	24.12	1.67	1.315	0.081	25.94	1.33
	2	1.422	0.056	24.92	0.93	1.471	0.069	24.64	1.41	1.385	0.102	25.27	1.32
	3	1.379	0.037	26.59	0.77	1.393	0.063	24.99	1.65	1.321	0.079	23.77	1.70
	4	1.432	0.061	29.49	1.62	1.378	0.074	28.65	2.16	1.311	0.068	29.11	2.44
	5	1.374	0.056	25.85	1.55	1.384	0.065	27.18	1.86	1.326	0.082	24.85	1.76
	平均	1.413	0.053	26.35	1.12	1.421	0.065	25.92	1.75	1.332	0.082	25.79	1.71

a. 工 期：土工量：約15,000㎡， 施工延長：約150m

b. 調 査 期 間 昭和63年11月11日～平成元年3月30日

c. 盛土及び調査方法

盛土基盤は数種類の異なった土質の発生土である。盛土材は「真砂」で11tダンプトラックで搬入し、7t級ブルドーザーで縦断方向に敷均した後、1層の仕上がり厚さを30cmとして16t級タイヤローラーで縦断方向に4回転圧した。盛土作業は1層あたり3～4日程度を要するので、工区を4分割し、盛土工事と調査を同時に実施した。

② 平泉道路改良第3工事 岩手県平泉町平泉地内（以下、「平泉」という）

a. 工 期：土工量：約113,000m³， 施工延長：約350m

b. 調 査 期 間 昭和63年11月11日～平成元年3月30日

c. 盛土及び調査方法

工事は、平泉バイパスの路体盛土及び併設される一関遊水池堤防の堤体盛土である。調査は、堤体盛土部分で実施した。盛土材は「軟岩」で11tダンプトラックで搬入し、12t級及び20t級ブルドーザーで敷均しを行い、巨岩は敷均し時に踏み砕いた。転圧は18t級タイヤローラーで縦断方向及び横断方向それぞれ2回、合計4回転圧した。盛土工事は1層分の施工がおおむね1日で終了し、翌日に調査を実施した。

③ 計測値のバラツキ

郡山・平泉の両工事の調査で得られた測定値のバラツキを確率密度関数により検討した。これらの乾燥密度と含水比の確率密度関数を図-5.29～図-5.40に示す。

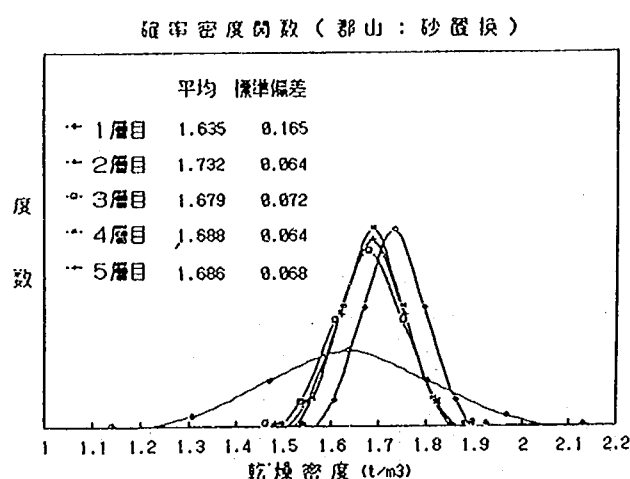


図-5.29 乾燥密度の確率密度関数

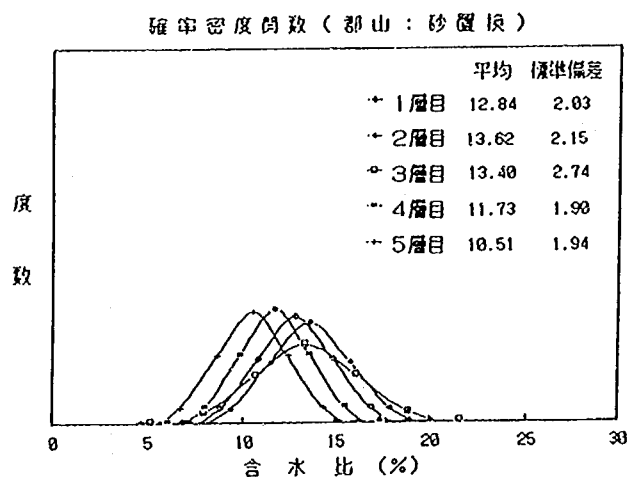


図-5.30 含水比の確率密度関数

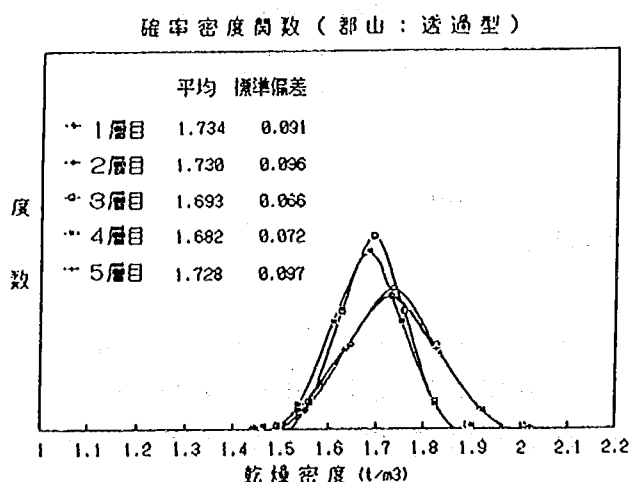


図-5.31 乾燥密度の確率密度関数

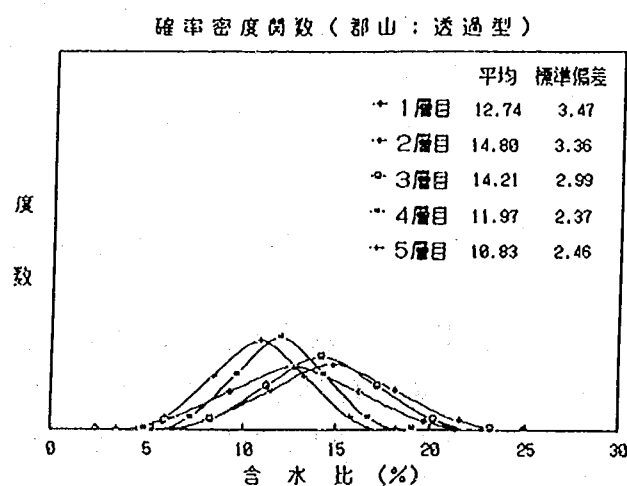


図-5.32 含水比の確率密度関数

確率密度関数 (郡山：散乱型)

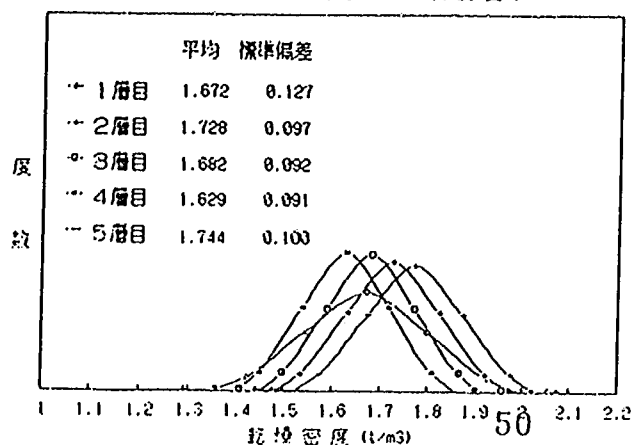


図-5.33 乾燥密度の確率密度関数

確率密度関数 (郡山：散乱型)

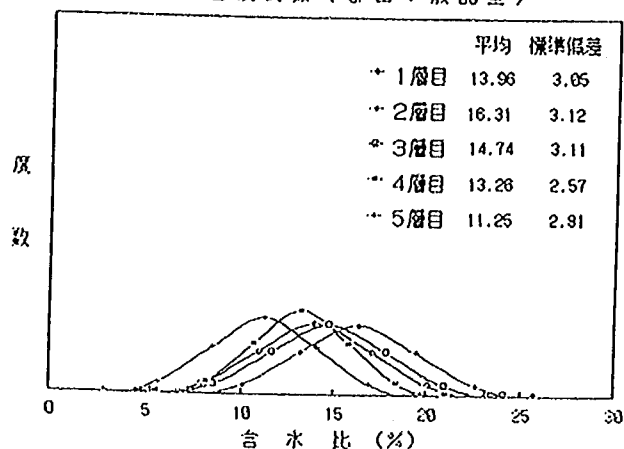


図-5.34 含水比の確率密度関数

(砂置換法：平泉)

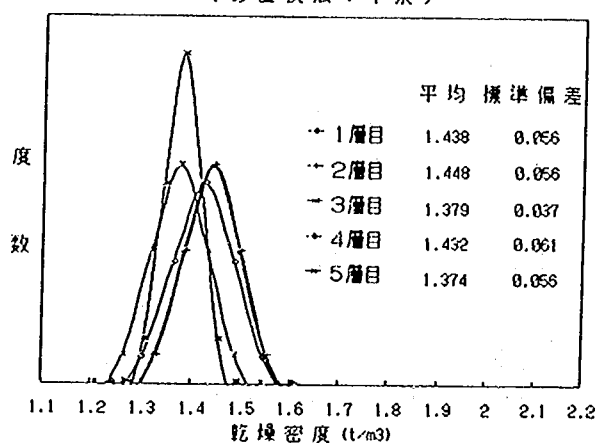


図-5.35 乾燥密度の確率密度関数

(砂置換法：平泉)

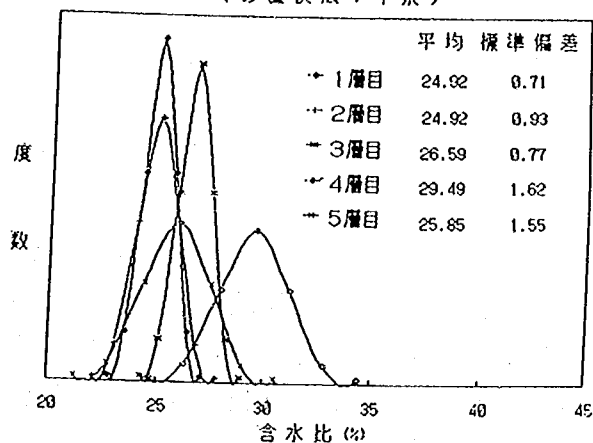


図-5.36 含水比の確率密度関数

(透過型R1試験：平泉)

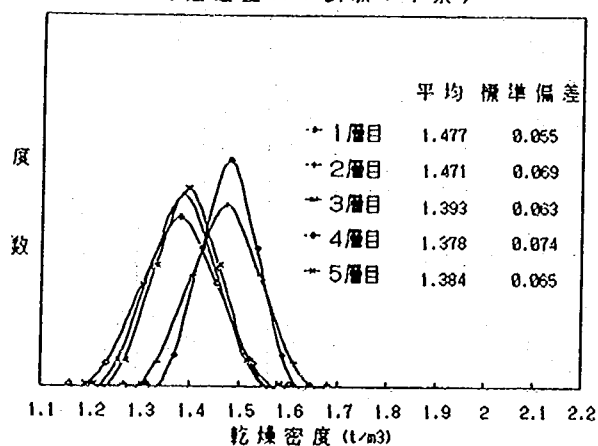


図-5.37 乾燥密度の確率密度関数

(透過型R1試験：平泉)

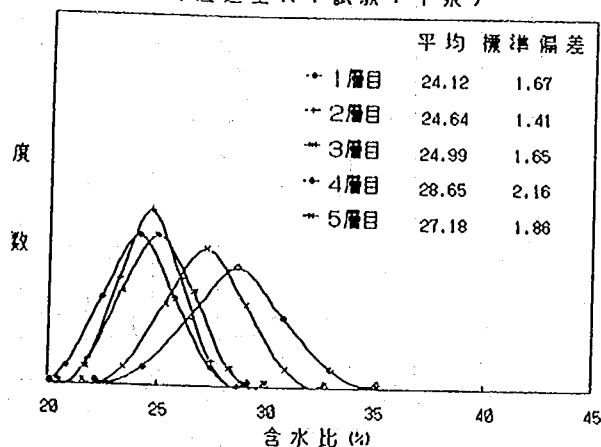


図-5.38 含水比の確率密度関数

(散乱型R I試験：平泉)

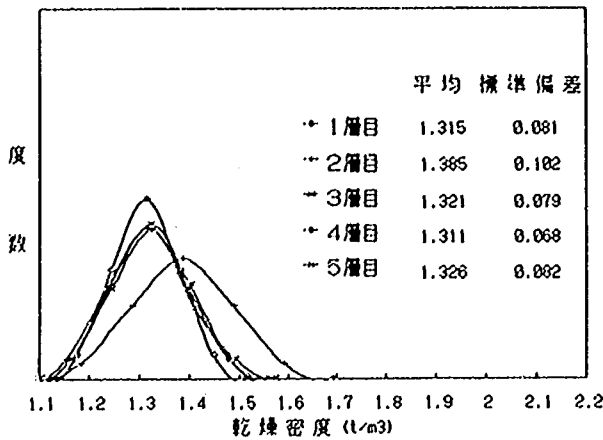


図-5.39 乾燥密度の確率密度関数

(散乱型R I試験：平泉)

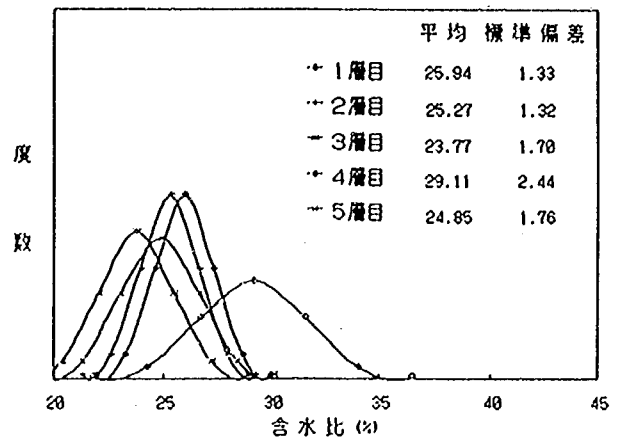


図-5.40 含水比の確率密度関数

この結果、次のことが確認された。

- 乾燥密度及び含水比は、各層ともほぼ同じ程度のバラツキになっている。
- 乾燥密度のバラツキは、砂置換法・透過型R I試験・散乱型R I試験の順に大きい。
- 含水比のバラツキは、砂置換法・散乱型R I試験・透過型R I試験の順に大きい。

④ 砂置換法との相関

乾燥密度、含水比について、透過型R I試験・散乱型R I試験と砂置換法の相関性を検討した。図-5.41に透過型R I試験と砂置換法、図-5.42に散乱型R I試験と砂置換法との含水比の相関を示す。

これらの検討結果、透過型R I試験と散乱型R I試験の相関係数は、ほとんど差がないことが判明し、試験盛土（構内試験）より下回るが、施工現場であることを考慮すれば、相関は高いといえる。

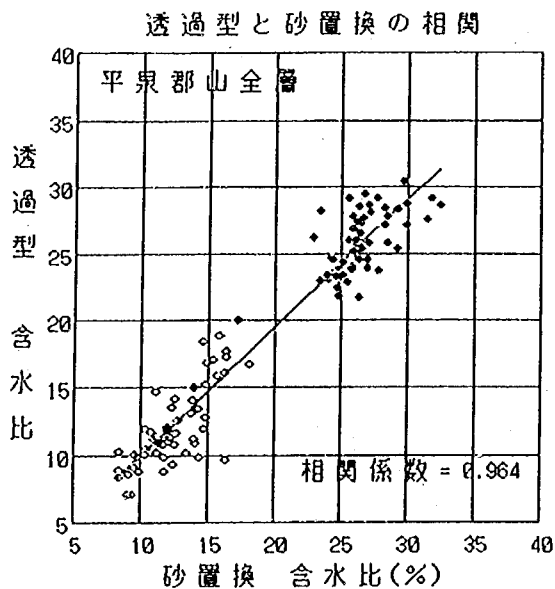


図-5.41 透過型R I試験と砂置換法

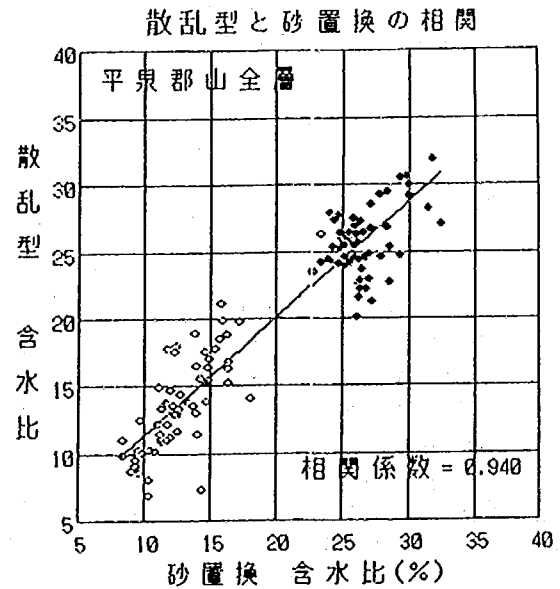


図-5.42 散乱型R I試験と砂置換法

2) 密度管理装置の評価

試験盛土における試験調査は、並びに施工現場における試験調査の結果から、次のように評価できる。

a. 透過型R I 試験

砂置換法に比較して、精度的にわずかに劣るもののその差は少なく、施工管理装置としての適用は充分に可能である。ただし、礫質土などについては今後の検討が必要である。

b. 散乱型R I 試験

砂置換法に比較して、精度的にわずかに劣るもののその差は少なく、施工管理装置としての適用は充分に可能である。ただし、礫質土などについては今後の検討が必要である。

また、透過型R I 試験と比較すると、精度的にわずかに劣るがその差は少ない。

3) 施工管理手法の検討

現行の盛土地盤の施工管理手法である砂置換法は、測定に多くの労力と時間を要するため、

- ・測定数を増やすことができず、結果として施工管理は点管理となっている。
- ・試験法も破壊検査であり、試験結果に個人差が入る危険性を有している。

などの問題点がある。

これに対してR I 試験は、非破壊試験で、リアルタイムに結果が得られ、個人誤差が少ない、などの特徴を有しているため、今後、このような測定機器を用いた面的な施工管理の方向に進むものと考えられる。しかし、この場合、現行の砂置換法における数百 m^2 に一回といった試験頻度をどのような合理的な測定頻度にするかが問題となる。

合理的な測定頻度の求め方として、次の2つの手法を考えた。

① 測定結果のばらつきは、地盤全体のばらつきにより測定頻度を求める方法

高密度で調査した地盤において、調査結果を n 点サンプリングし、サンプリングしたデータから推計した地盤全体のばらつきが、全数調査結果のばらつきのある範囲内に収まるように n の数を決定する方法。

② 測定結果の平均と、地盤全体のばらつきから求める方法

高密度調査した地盤において、調査結果 n 点サンプリングを m 回実施し、 m 個の n 点の平均が全て地盤全体のばらつきのある範囲内に収まるように n の数を決定する方法。

①、②の方法を用いて、昨年度の試験盛土の結果、及び本年度の現場計測の結果から測定密度の試算を行ってみた。

① 測定値のばらつきと、地盤全体のばらつきにより測定頻度を求める方法

この方法は、母集団の中から n 点のデータをランダムサンプリングし、 n 点のデータから母集団の推定を行い、推定した母集団の95%信頼区間の範囲と、母集団のばらつききある範囲の比から測定頻度を求めるものである。

試算では、全データからサンプリングしたデータを基に推定した母集団の信頼区間が、母集団の標準偏差の範囲に収まれば、その測定頻度は施工管理に有効である、とした。

図-5.43に、散乱型R I 試験による試験盛土(砂質土)と、施工現場(郡山:3層目の例)のランダムサンプリング法により求められた測定頻度を示す。

これによると、試験盛土 (20m×40m) では、15点程度の測定を行なえば良いことになるが、この施工現場の例では土質のバラツキ、母集団の分散の相違 (データ数の相違) のため、多くの測定頻度を必要とする結果になっている。

② サンプル数ごとのデータ分布

この方法は、ランダムサンプリングを2, 3, 5, 10, 15, 20, 30個と行い、各々10回繰返し、各々の平均値をプロットし、定めた管理範囲内にすべて収まれば、施工管理に有効としたものである。図-5.43は、管理範囲 (乾燥密度) を平均値 $\pm 0.5\sigma$ とした場合の、施工現場 (郡山: 散乱型RI試験・3層目の例) について検討したもので、実験ヤードの場合、10点以上の測定数があれば、すべて管理範囲に収まることがわかった。

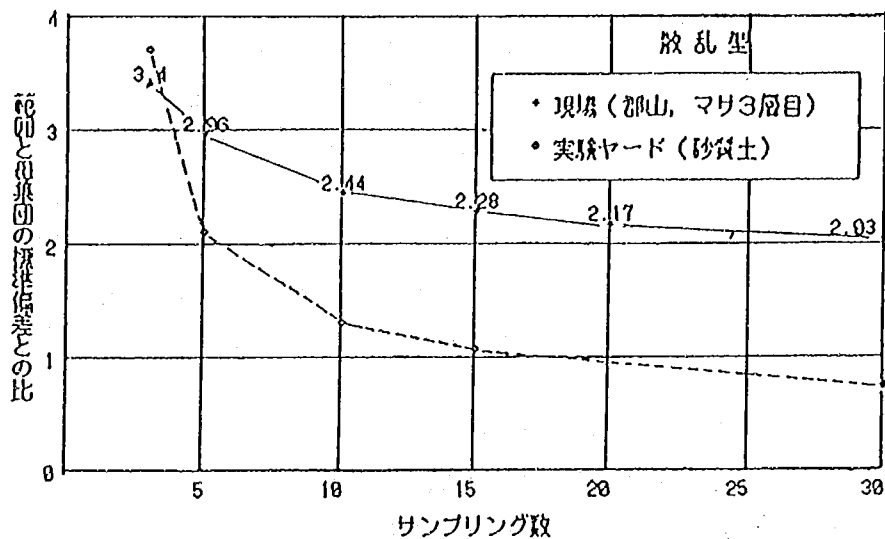


図-5.43 母集団推定による測定頻度

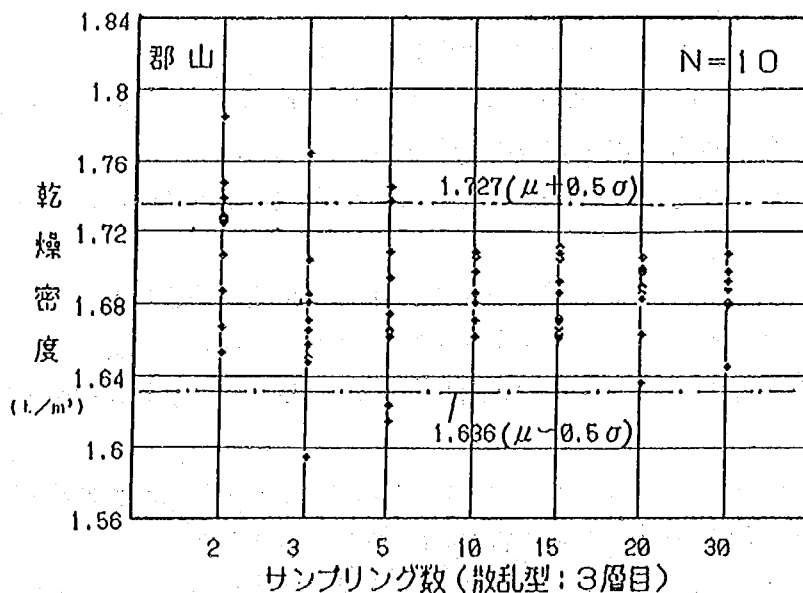


図-5.44 データ分布による測定頻度

6. コンクリート工における施工管理手法の研究

6.1 研究の目的

土木工事は、その範囲がきわめて広く、河川・道路・建築など多方面にわたっており、いずれの工事でもコンクリートを工事材料として使用しており、コンクリートはきわめて大切な材料となっている。

良いコンクリート構造物を造るためには、強度・耐久性・施工性・経済性の因子を十分考慮しなければならない。そのため、建設工事の機械化の推進とともに振動機をはじめとする各種施工機械が開発された。

今後は、これら機械による施工を、さらに効率的にすすめるためには、測定機器と合理的な品質管理手法を開発することによって品質の確保と施工合理化を共に達成することが必要である。

本研究は、コンクリート工における施工の中心をなす締固めに着目して、施工法、施工管理手法、施工管理基準等の現況をまとめて現在のコンクリート工における課題を明らかにし、定量的な施工管理方法及び簡易な管理手法を提案しようとするものである。

6.2 コンクリート工の施工管理

(1) 施工法の実態

コンクリート工における施工管理の実態を把握するために、中部地建・中国地建が施工した工事を対象にアンケート調査方式により、施工実態の調査を行い、次のような結果を得た。

① コンクリート工における施工方法は、コンクリートポンプ車によるものが最も多く、この場合、最大骨材寸法は、20～40mm、スランプは、ほぼ8cmが多いようである。

② コンクリートの締固めは、打設厚40～50cmで施工されているが、これは棒状振動機の40～60mmが使用されている例がほとんどであり、その振動筒の長さからきいていると考えられる。

③ 振動機の施工間隔は、40～50cmが大半であり、中には1mを超えるものがある。

(2) 施工管理の実態

コンクリート打設時の締固めについては、次のようなことがあげられる。

① 振動機の締固め時間を目安にしているものもあるが、大半は経験的判断にゆだねられている。

② 振動機の1ヶ所での締固め時間は、約10～30秒程度が多い。

③ 施工中、骨材の分離に気をくばっているとしているが、実態は型枠内でコンクリートを横移動させているものがみられ、十分な管理を要求される。

④ 施工中のブリージングは、そのままとする例が多い。

⑤ 養生方法については、散水シートによる方法が一般的であり、温度計測等を行っていない。

⑥ 現場における施工監督を行う立場の人が施工時に留意した事項の主なものとしては、材料の分離をさせないよう配慮し、締固めを十分に行う、枠内移動をさせない、型枠の変形、ブリージングの処理、一層の打設厚、打込時間、コンクリートの硬化時間のほか、空気量の減少、振動機の施工間隔、打

継目の清掃等があげられている。

(3) 現状の問題点

1) 施工管理基準の問題、配合設計や試験練りで決められたコンクリートについて、施工によって大きく左右されるにもかかわらず、打込み方法、締固め、養生については、施工管理基準が抽象的で、施工者の経験的判断にゆだねられている。

2) 施工実態の問題、施工の容易性から施工者が工事仕様のスランプより大き目のもので施工されているほか、締固めが重要であるにもかかわらず振動機の加振時間が把握されていないこと、施工時の管理が作業員の判断にゆだねられている部分が多いことから管理の定量化がなされていない現状では、より高度のレベルの知識を有する作業員が必要であること、等の問題がある。

3) その他の問題点、部材の形状、鉄筋量、施工性を考慮した設計や構造物の形状、手法に適合した配合スランプ等も発注者に要望される事項である。

6.3 コンクリート振動機の使用実態調査

コンクリートの締固め度管理の手法を検討するに当たって、コンクリート工で使用されているコンクリート振動機の使用実態をより詳細に調査し、実験研究計画の立案及び施工管理のガイドライン検討の基礎資料とした。

6.3.1 調査方法

コンクリート振動機の使用実態の調査に当たっては、実際の現場調査が望ましいが、統計的には難しい面もあり、次の方法により調査を行った。

(1) メーカー生産実績調査

市場に出回っている機械及び新機種動向をつかむために、メーカーの生産状況を59～61年の3ケ年にわたって、国内の主要メーカー7社に調査依頼した。

(2) 施工業者、リース業者保有実態調査

コンクリート工における施工現場での使用実態を把握する方法として、施工業者及びリース業者を対象に保有実態を調査し、前項のメーカー生産実績と突き合わせる方法とした。この調査は、各地建に依頼し、施工業者及びリース業者の中から抽出して、アンケート調査を行い、合計194社の回答を得た。

6.3.2 調査結果

(1) 生産実績と保有実績

表-6.1に示すとおり、最近の3年間ではメーカーの生産動向に大きな変化はないが、公称棒径30mm以下が半数を超えている。一方、施工業者等の保有実績は、40mmが中心機種になっている。

表-6.1 コンクリート振動機の公称棒径別生産及び保有実績

(台)

公称棒径	メーカ生産実績				施工業者等 保有実績
	59	60	61	計	
23～32mm	5,902	4,605	6,153	16,660 (54.0)	3,059 (54.0)
38～40	3,533	2,603	2,025	8,161 (26.4)	7,614 (46.4)
45～50	2,198	1,854	1,427	5,479 (17.7)	7,459 (25.3)
60	251	138	182	571 (1.9)	1,249 (7.6)
70～	0	0	0	0	339 (2.1)

※ () は%を示す。

(2) コンクリート振動機の使用実態

前記(1)の結果から、表-6.1に示すとおり、現場では公称棒径40mmが約半数を占め、ついで、50mm級、さらには30mm級のものが一般的な機種といえる。なお、60mm級以上については、使用場所が明らかではないが、大形コンクリート構造物に使用されたものと推察される。

図-6.1は、振動機の振動数別の保有実態を示したものである。振動数9,000vpm以下は、3%しかなく、12,000～14,000vpmが主体となっている。

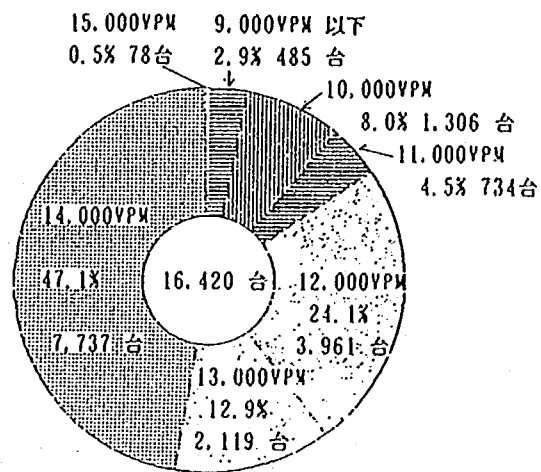


図-6.1 棒型内部振動機の振動機による分類

6.4 コンクリートの振動締固め方法に関する予備実験

6.4.1 実験目的

コンクリート構造物では、十分な強度及び耐久性を確保する観点から、コンクリート打設において型枠内のすみずみまでコンクリートを充填し、かつコンクリートが密実になるよう十分締固めを行わなければならない。

本予備実験は、コンクリートの打設時の締固め方法（振動時間、パイプレータからの距離など）と硬化後のコンクリートの単位容積重量、圧縮強度との関係および、R I 水分密度計を使用した締固め程度の判定の可能性を見出すことを目的として予備的に行ったものである。

6.4.2 実験方法

(1) 実験フローチャート

予備実験のフローチャートを
図-6.2に示す。

(2) 使用振動機の仕様

棒形振動機 HMV40P

(内蔵式)

振 動 数 12,000～

14,000rpm

振 幅 1.8mm

振動部の
大 き さ 41φ×380mm

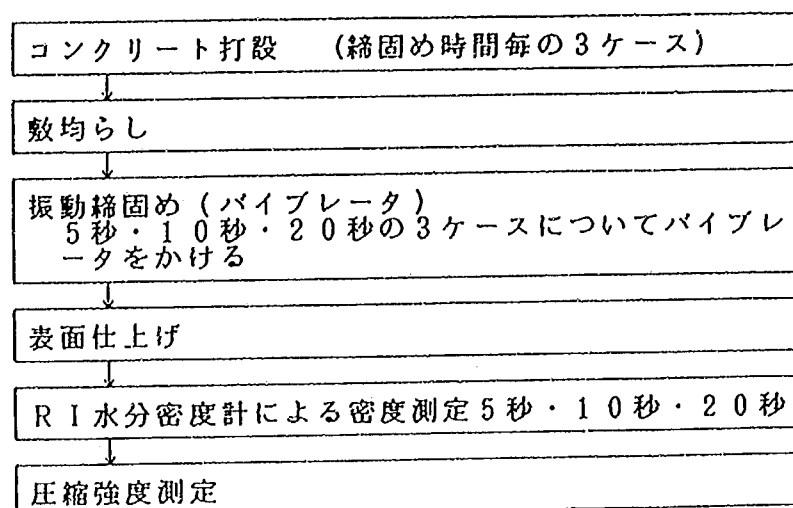


図6-2 予備実験フローチャート

(3) コンクリートの実施配合一覧表

配合の設計条件は210-8-25とし、使用セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.16)細骨材は豊田産の山砂(比重2.56)、粗骨材は豊田産の山砂利(比重2.60)及び春日井産の碎石(比重2.66)とし、混和材としてはAE剤を用いた。

表-6.2 実 施 配 合 表

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	実測のスラブ厚(cm)	水とモルタル比(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg / m ³)					圧 縮 強 度 (kgf / cm ²)	
					水	モルタル	細骨材	粗骨材	混和剤	7 日	28 日
普通コンクリート	25	7.0	57	45	164	288	812	1017	0.115	139	298

(4) 実験条件一覧表

条件	コンクリートの種類	パイプレータ	振動時間	供試体採取数
1 ケース	普通コンクリート	HMV40P	5秒	4
2 ケース	普通コンクリート	HMV40P	10秒	4
3 ケース	普通コンクリート	HMV40P	20秒	4

(5) 供試体採取位置

供試体採取位置及び上層下層の位置を図-6.3に示す。

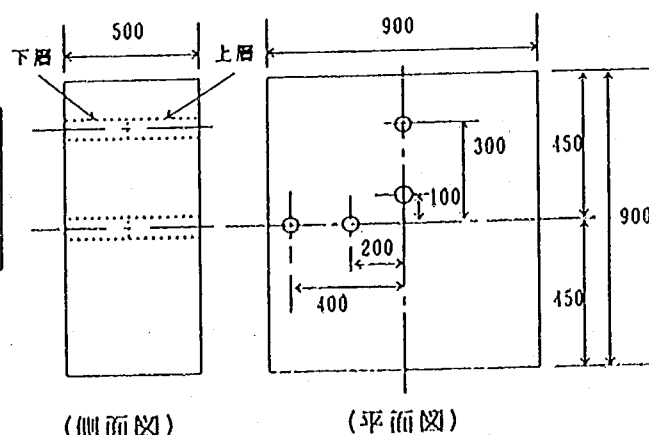


図-6.3 コア採取位置

(6) 締固め方法

図-6.4に示すような木製型枠深さ550mmにコンクリートを500mmまで打設を行い、型枠中心部に深さ450mmまで棒状振動機を挿入し、振動締固め時間は5、10、20秒の3ケースで実験を行った。

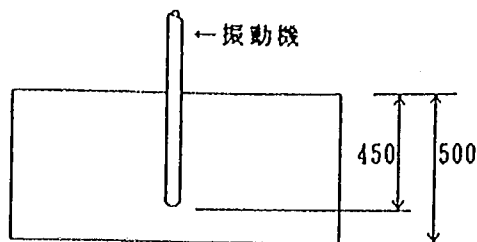


図-6.4 振動機挿入位置

(7) 測定方法

1) RI水分密度計の名称

RI (ラジオ・アイソトープ) 水分密度計

・ETL-10EX

2) RI水分密度計測定方法

測定方法は、図-6.5の方向と図-6.6のような構造で線源を20cmフレッシュコンクリートに差し込み、線源からの水分・密度測定用検出器により計数した。得られた計数から、計器内に定められた校正曲線より密度含水比を求めた。

3) 圧縮強度、単位容積重量の測定方法

① 圧縮強度は、JIS B 7733の規定の圧縮試験機を用いてJIS A 1108コンクリートの圧縮強さ試験方法により行ったものである。

② 単位容積重量は、供試体の重量 (kg) を供試体の容積 (cm³) で割った値である。

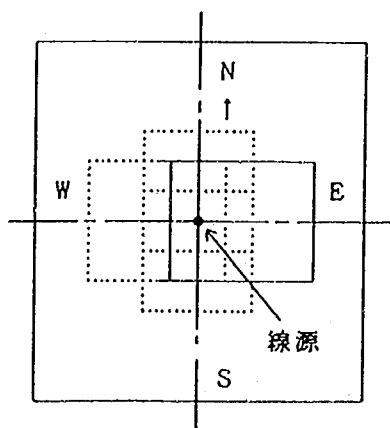


図-6.5 RI水分密度計測定位置4方向

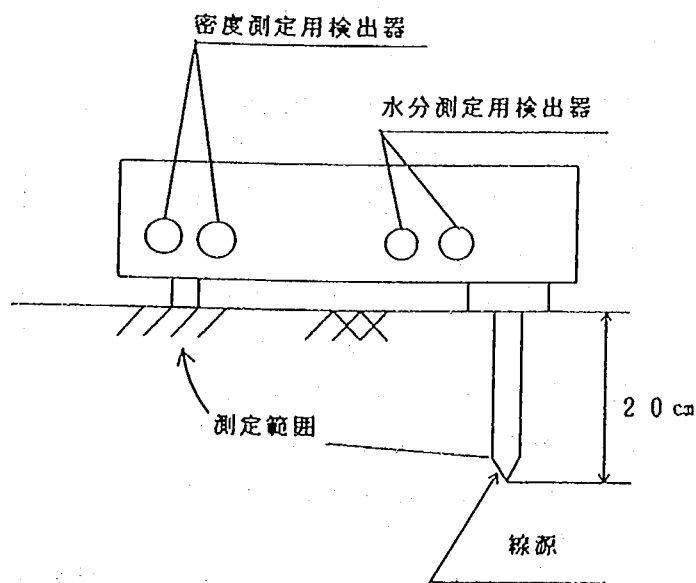


図-6.6 測定器の構造図

6.4.3 実験結果

打設・締固め後、すぐにR I水分密度計で測定を行ったため、各供試体とも上層部は線源棒が挿入されたり、水分密度計の底面で圧力を受けたりして乱された。

(1) 振動時間と単位容積重量と振動時間の関係

時間の関係

図-6.7に単位容積重量と振動時間の関係を図-6.8に圧縮強度と振動時間の関係を示す。

単位容積重量、強度とも上層より下層が高くなる傾向を示している。

この理由としては、次のような事が考えられる。

1) R I測定時の影響(乱)を受けた。

2) 締固めの進行過程において、コンクリート中の余分な気泡や水分は、下層から上層へ移動することが考えられ、締固め時間が不十分な場合は上層にそれらが残り単位容積重量、強度に影響を与えていた。

(2) バイブレータからの距離と単位容積重量・圧縮強度の関係

図-6.9にバイブレータからの距離と単位容積重量との関係を、図-6.10にバイブレータからの距離と圧縮強度との関係を示す。

図-6.9、図-6.10を見ると必ずしもバイブレータに近い方がよく締固まっているとは言えない。むしろバイブレータからの距離が遠く型枠に近い方で単位容積重量・強度が高くなる傾向も見られ、フレッシュコンクリートの振動締固めは、形枠近傍ではバイブレータと型枠との相互作用の中で進行すると言えそうである。

また、図-6.9、図-6.10の各データを同一ケースごとに見ると、単位容積重量と圧縮強度はある程度同一の傾向を示していると言えるので、次に単位容積重量と圧縮強度の相関を見ることとする。

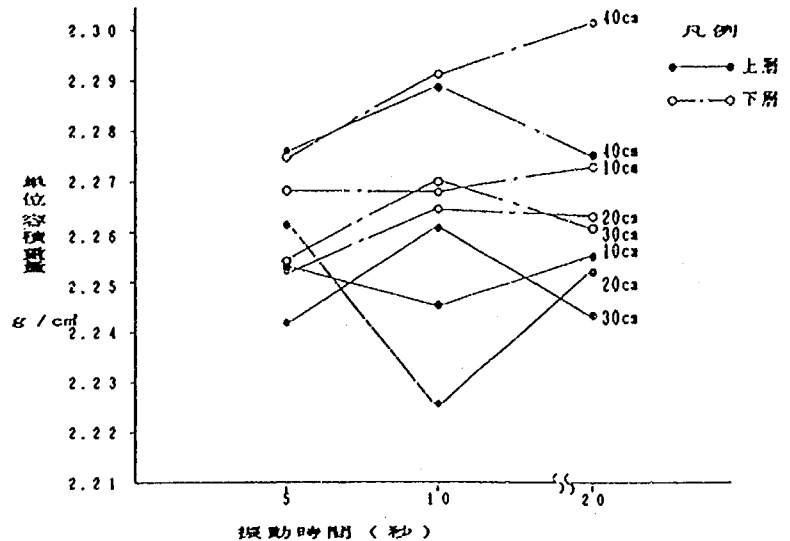


図-6.7 単位容積重量と振動時間の関係

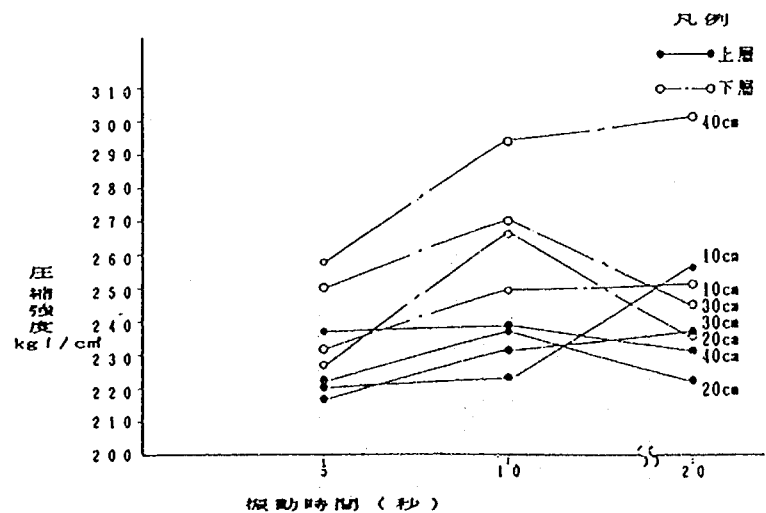


図-6.8 圧縮強度と振動時間の関係

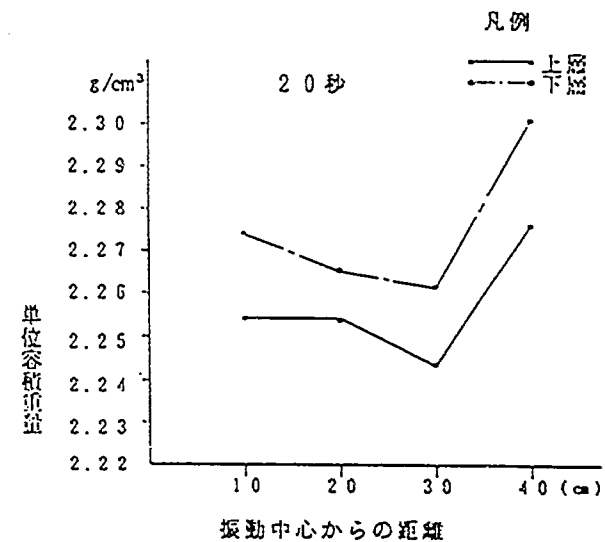
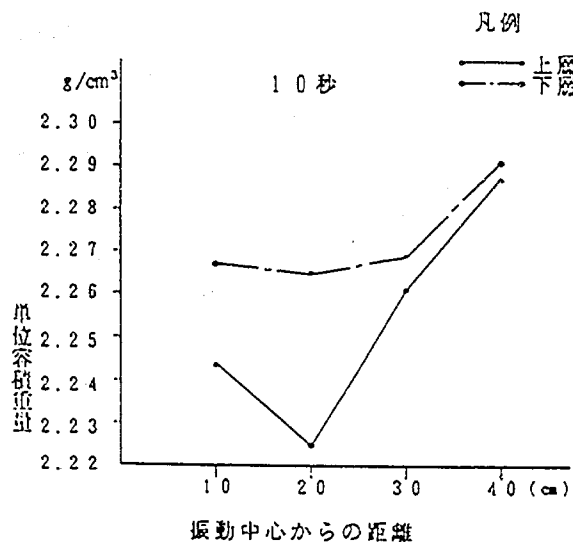
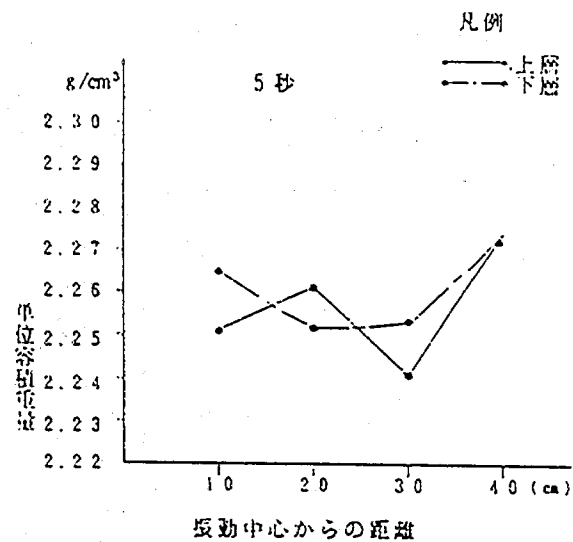


図-6.9 単位容積重量と距離の関係

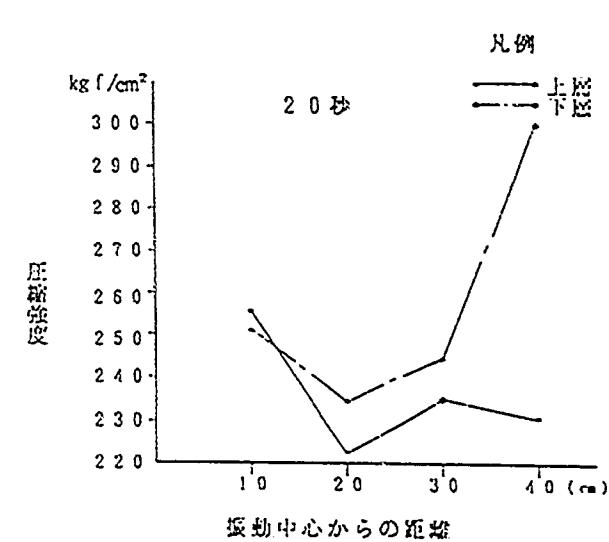
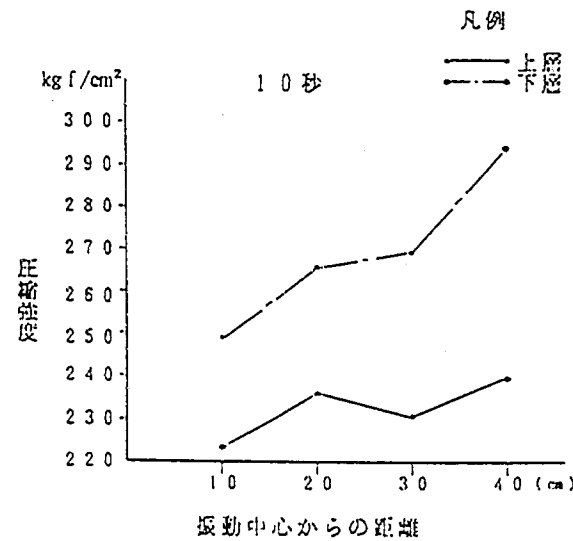
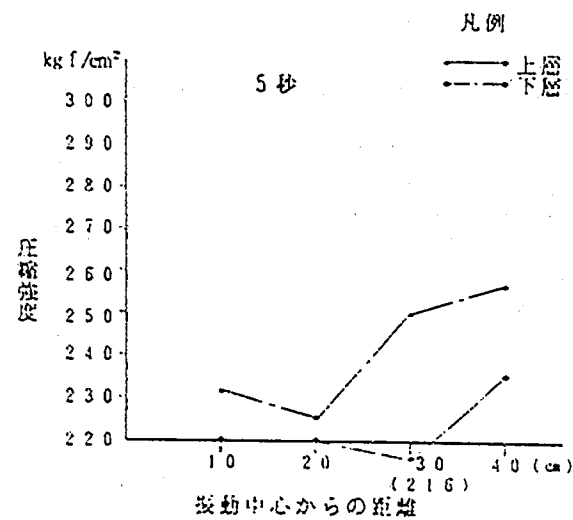


図-6.10 圧縮強度と距離の関係

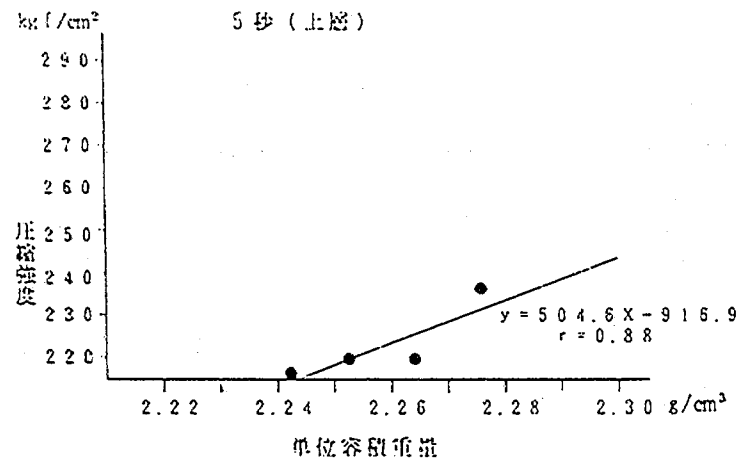


図-6.11 圧縮強度と単位容積重量の相関

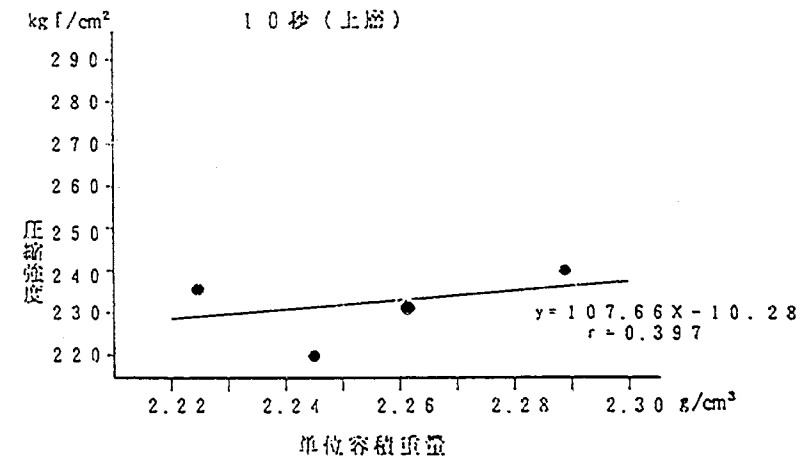


図-6.12 圧縮強度と単位容積重量の相関

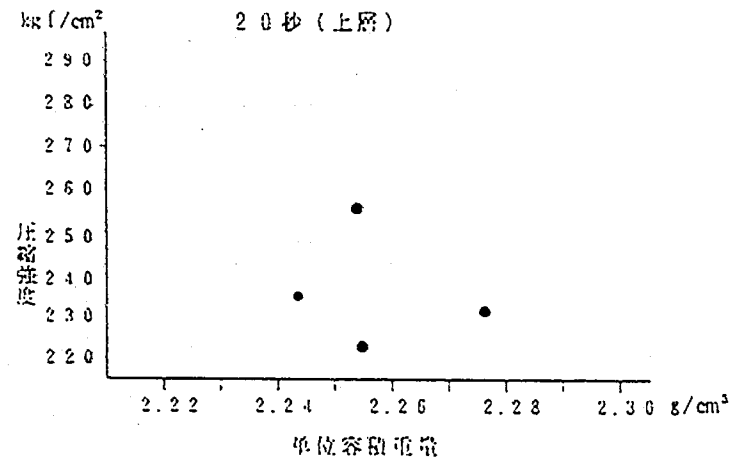


図-6.13 圧縮強度と単位容積重量の相関

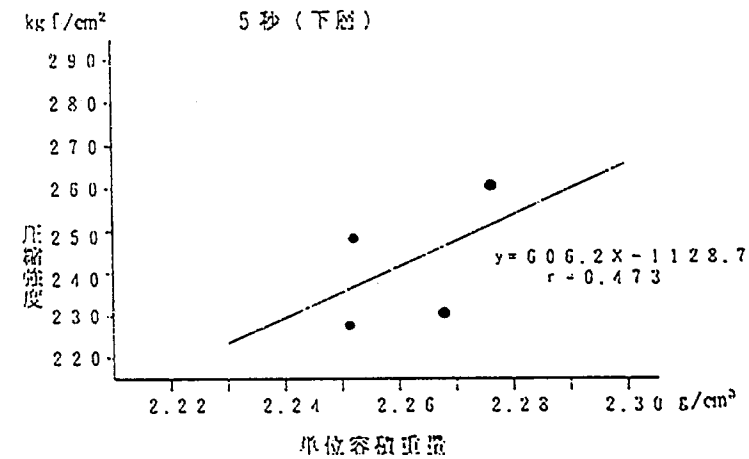


図-6.14 圧縮強度と単位容積重量の相関

(3) 圧縮強度と単位容積重量の関係

図-6.11～図-6.14に上層の、図-6.15～図-6.16に下層の圧縮強度と単位容積重量の関係を示す。

図の中には単位容積重量と圧縮強度との相関がほとんど見られないものもある。これは打設後のR I水分密度計測定中にコンクリートを乱したことなどが影響を与えたものと思われる。また、下層のものをみると振動時間が5秒、10秒、20秒と長くなるに従って、良い相関を示すようになっていく。

次に、図-6.11～図-6.16の全データをまとめたものを図-6.17に示す。

上層のデータでは圧縮強度と単位容積重量の相関が少ない。これは、R I水分密度計による計測作業の影響を受けたものなども含まれていると考えられる。

そこで、振動締め時の単位容積重量と圧縮強度の関係を示すものとして、振動時間5秒～20秒の下層のデータを整理し図-6.18に示す。

この図においては、単位容積重量の圧縮強度は良い相関を示している。

これより、振動締めにおいては、コンクリートの圧縮強度を高くするには高い単位容積重量に締めめることが一つの重要なポイントであると言え、締めを十分に行う（密度管理を行う）ことで、十分な強度を確保するという従来の考え方を裏づける傾向を示している。

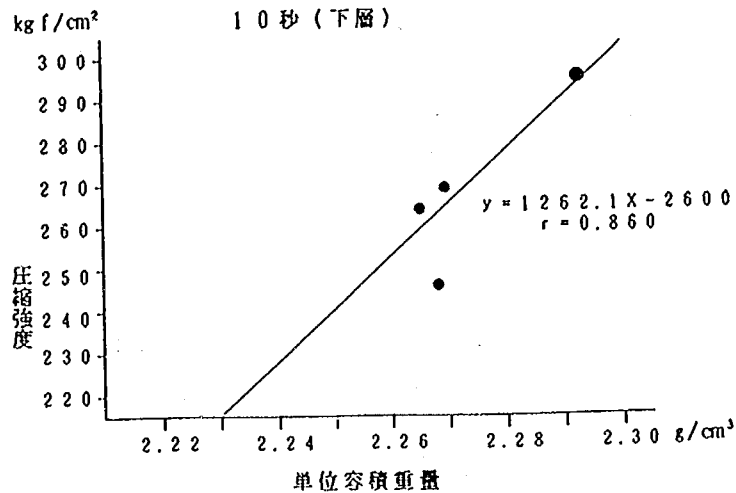


図-6.15 圧縮強度と単位容積重量の相関

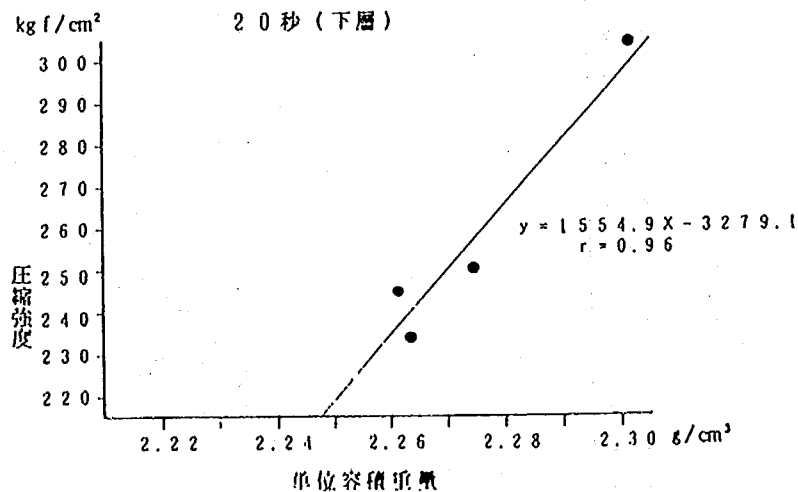


図-6.16 圧縮強度と単位容積重量の相関

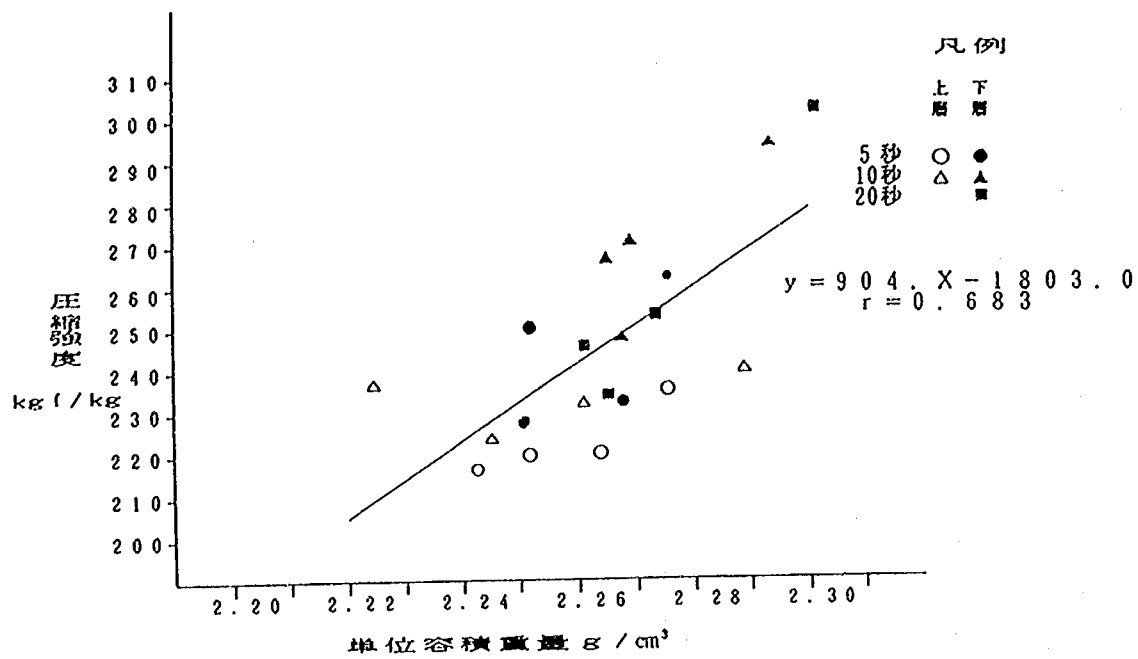


図-6.17 上・下層の圧縮強度と単位容積重量相関図

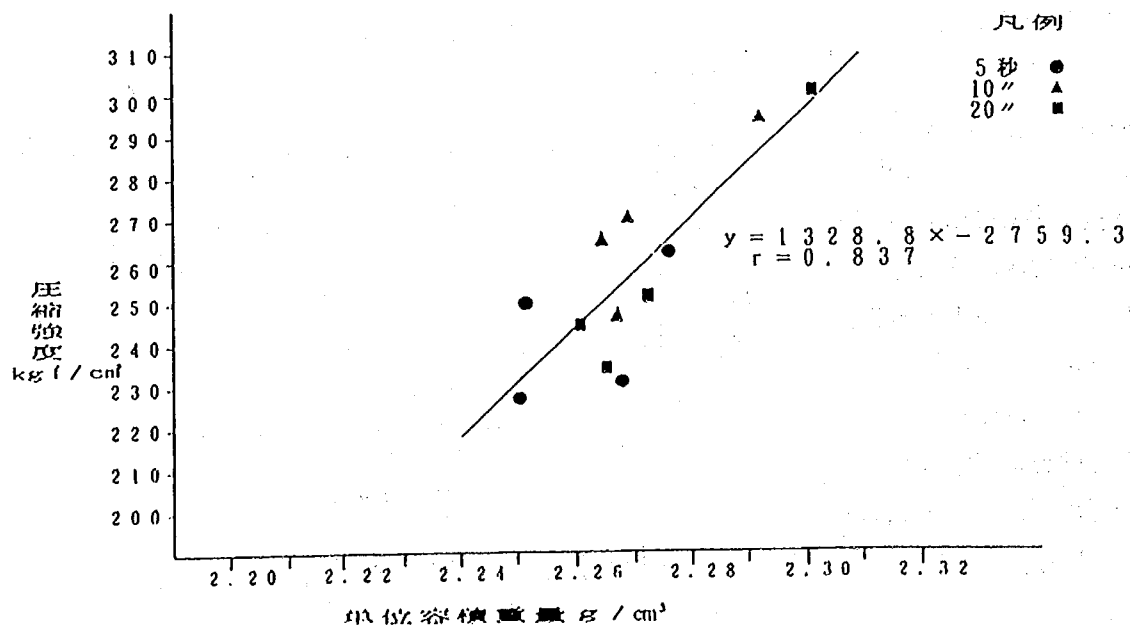


図-6.18 下層の圧縮強度と単位容積重量相関図

(4) RI水分密度計による密度測定

図-6.19にRI水分密度計による密度の測定値を示す。

測定器の向きを変えた（測定範囲を変えた）だけでデータはかなり「バラツキ」がある。

この原因として、次のことが考えられる。

① スランプ8 cmのコンクリートでは柔らかいのでコンクリート中に挿入した線源棒等で乱されて密度に影響を受けている。

② 測定器の重量に対し保持方法がやわらかなコンクリート上では不安定となり測定条件が一定でなかった。

今後、測定機器・測定方法について検討を要すると思われる。

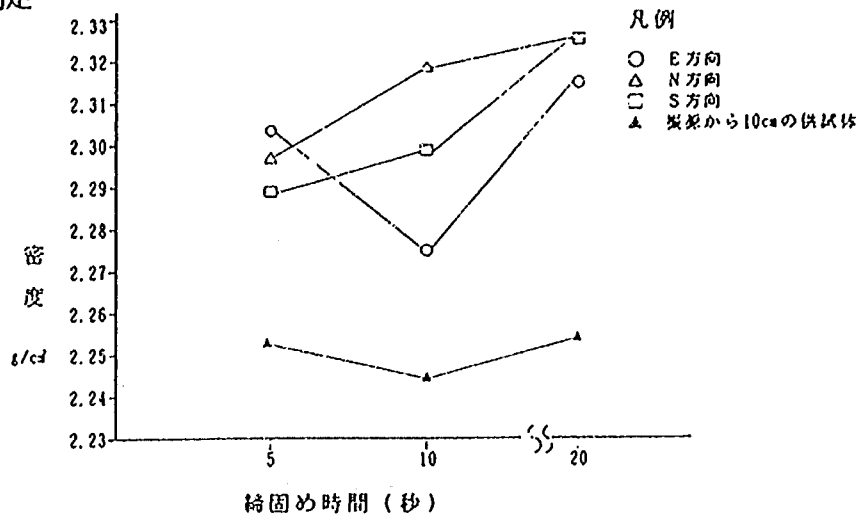


図-6.19 RI水分密度計による密度測定

6.4.4 考 察

本来なら、JIS A 1132の規定に従って同一条件の試験に対して必要な供試体の数は3個以上採取しなければならぬが、予備実験では供試体の数は同一条件で1個しか採取しなかったため、あくまでも1個のデータとしての結果である。

① 今回の予備実験で振動締固めにおいては、十分に締固めを行い高い単位容積重量を得ることで高い圧縮強度を得ることが期待できるという従来の考え方を裏づける形のデータが得られた。

② 振動締固めにおいては、バイブレータからの距離だけでなく、バイブレータと型枠の両方の影響を受けて締固めが進行すると思われる傾向が見られた。

③ RI水分密度計を使用した密度測定については、測定機器、測定方法、水分の影響等の検討を要する。

6.5 コンクリート振動機の使用法に関する実験

6.5.1 実験の概要

コンクリート工における施工管理手法の合理化に関する研究では、前項で述べた未だ固まらないコンクリートの締固め度を測定管理する、いわゆる直接的管理手法の検討とともにコンクリートの締固め度をコンクリート振動機の使用法から間接的に管理する手法について、実験的に検討を行って来た。本項では、この間接的管理手法を提案するための資料を得る目的で行った実験と、その結果について述べるものである。

(1) 実験の経緯

コンクリートは、打込み直後に十分締固めを行い、鉄筋の周囲や型枠の隅々まで行き渡るようにすると共に、余分なエアや水分を追い出し、密実なコンクリートにしなければならない。62年度の現場施工実態のアンケート調査によると①振動機は、公称棒径40～60mmが最も多く使用されている。②振動機の一箇所の振動時間は、10秒が最も多い。③振動機の振動間隔は、40～50cmが大半であることが判明した。以上のことから、締固めについては、一般に経験的判断により処理され、施工状態に幅があり、多種多様のコンクリートに一率の方法があてはまることも考えられないことから材料に最適な締固め方法(振動時間、振動間隔)に的を絞った研究を進めることとした。63年度はこの成果を踏まえて、振動機の使用法に関する室内実験を中部・中国両地建が共同で行ったものである。この実験では、振動機の種類(高振動、低振動)をかえ、各種コンクリートへの振動時間を変化させて、圧縮強度、密度等から最適使用方法を見出そうとしたものである。この結果、高振動型コンクリート振動機を使用したコンクリートでは、振動時間10～20秒の圧縮強度が高い傾向を示した。平成元年度は、実験成果を生かして施工マニュアル化を検討するため、実構造物幅を想定した2ケースについて実験を行い、振動時間及び振動間隔の妥当性を圧縮強度と密度で検討した。

(2) 昭和63年度に行った実験

コンクリート振動機の使用法に関する実験は、中部・中国両地建が分担して行ったが、実験条件、実験項目等は、前年度の報告書に詳細に記述しているので、ここでは概要のみを述べる。

- ① 使用振動機 公称棒径—30mm, 40mm,
50mm
振動数—13,000vpm,
8,000vpm

- ② 使用コンクリート
配合強度—180kg/cm²
スランプ—5cm, 8cm
最大骨材径—40mm, 20mm

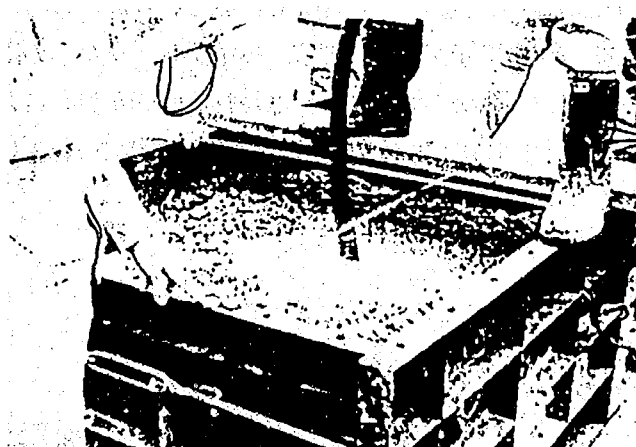


写真-6.1 実験状況

③ 振動機の使用条件 振動時間—20秒, 40秒, 60秒

供試体—1 m (縦) × 1 m (横) × 0.45 m (高)

振動位置—供試体中央の一点

振動機挿入深さ—0.4 m

(3) 平成元年度の補足実験

前年度までの実験結果から、振動時間(20秒以下)及びコンクリート供試体(構造物幅20cm~30cm)等の実験条件を追加して補足実験を行った。

1) 振動時間に関する補足実験

後述のとおり前年度の実験結果から、振動時間20秒の実験において圧縮強度が高いという結果が得られたので、振動時間20秒以下の補足実験を行ったものである。

(a) 実験条件

① コンクリート振動機 公称棒径40mm (高振動型)

② 使用コンクリート 160kg/cm³, -8 cm, -40mm

③ 振動機の使用条件 振動時間—0秒, 5秒, 10秒, 20秒

供試体—1.0m (縦) × 1.0m (横) × 0.45 (高)

振動位置—供試体中央の一点

振動機挿入深さ—0.4m

(b) 試験項目

スランプ, 空気量, 単位容積重量, 圧縮強度(コア), ブリージング観察, 骨材占有率, ボイド百分率

2) 振動間隔に関する補足実験

前年度の実験において、締固め実験用供試体(1.0 m × 1.0 m × 0.45 m)の振動位置からの距離と締固め効果を検討(最適振動間隔)するまでのデータが得られなかったため、これら振動間隔、および構造物厚と締固め効果について検討するために、次のような補足実験を行った。

(a) 実験条件

① コンクリート振動機 公称棒径—30mm, 40mm

② 使用コンクリート 160kg/cm³, -8 cm, -40mm

③ 振動機の使用条件 振動時間—10秒

振動間隔—30cm, 40cm

振動機挿入深さ—0.4m

供試体①—1.2m (長) × 0.2m (幅) × 0.45m (高)

供試体②—1.2m (長) × 0.3m (幅) × 0.45m (高)

(b) 試験項目

スランプ, 空気量, 単位容積重量, 圧縮強度(コア), 振動加速度, ボイド百分率

6.6 コンクリート振動機の選定と使用方法の基礎実験

本実験に先立ち、コンクリート振動機の形式と使用方法による締固め効果のちがいを実験的に確認した。

6.1 実験方法

本実験のフローチャートを図-6.20に示す。

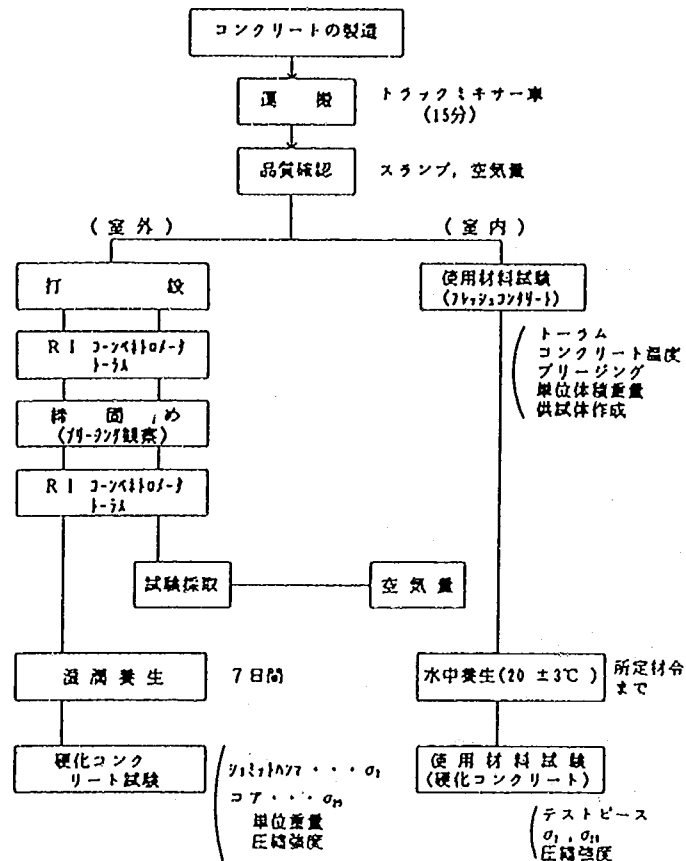


図-6.20 実験フローチャート

(1) 実験条件

1) コンクリート振動機の仕様

表-6.3に示すとおりである。

2) 供試コンクリート

供試コンクリートは、表-6.4に示す配合とした。使用したセメントは高炉B種（比重 3.05），細骨材は東野産の海砂（比重 2.71）とし、混和材としては、AE剤を用いた。

表-6.3 実験に使用した振動機の仕様

規格・型式	振動数 (VPM)	振幅 (mm)	振動部寸法 (径×長さ)(mm×mm)
BM-30CB	13000	1.5	32 × 440
BM-40CB	13000	1.8	41 × 440
BM-50CB	13000	2.1	52 × 412

表-6.4 コンクリート配合表

配 合	セメント の種 類	粗骨材の 最大寸法 (mm)	実測のスラ ンブ範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
							水	セメント	細骨材	粗骨材	混和材
180-8-40	高炉珪	40	8	4.0	62	40.6	160	259	743	1151	0.259
180-5-40	"	40	5	4.0	62	41.2	155	250	763	1151	0.250
180-8-20	"	20	8	4.0	62	45.5	175	283	807	1023	0.283

3) 振動機の条件設定と実験組合せ

(a) 振動機の条件設定

- ① 振動機の棒径：30, 40, 50mmの3条件
- ② 振動機の加振時間：20, 40, 60秒の3条件
- ③ 振動機の振動数：高振動…13,000vpm, 低振動…8,000vpmの2条件
- ④ 加振位置：平面上の位置…中央1ヶ所, 挿入深さ…350mm

表-6.5(1) 実験組合せ(i)

振動棒径	50mm	40mm	30mm	50mm	40mm	30mm
加振時間60秒	高振動	高振動	高振動	—	—	—
" 40秒	高振動	高振動	高振動	低振動	低振動	低振動
" 20秒	高振動	高振動	高振動	—	—	—

表-6.5(2) 実験組合せ(ii)

振動棒径	50mm	40mm	30mm
加振時間40秒	高振動	高振動	高振動
		低振動	

表-6.5(3) 実験組合せ(iii)

振動棒径	50mm	40mm	30mm
加振時間40秒	高振動	高振動	高振動
		低振動	

(b) 実験組合せ及び地建別の分担

- ① 180kg/cm³— 8 cm—40cm
- ② 180kg/cm³— 5 cm—40cm
- ③ 180kg/cm³— 8 cm—20cm

(3)に示す組合せとした。

以上の実験組合せについて、次のとおり分担した。

- ① 中部地建は、表-6.5(1)に示す12ケース
- ② 中国地建は、表-6.5(1)のうち40秒による6ケース、表-6.5(2)及び表-6.5(3)の各4ケースの合計12ケース

4) 供試体、型枠

(a) 供試体の寸法(縦×横×高さ) : 1,000mm×1,000mm×450mm

(b) 型枠の種類 : 底面…木製型枠, 側面…木製及び鋼製型枠の組合せ

5) コンクリート打設方法

コンクリートの打設は、生コン工場からコンクリートミキサ車で運搬されたコンクリートを型枠内に垂直に落とし、落下高はなるべく低くした。投入は、一層一回とし分離を生じないように作業した。

締固めは、図-6.21に示した位置に垂直に振動機を挿入し、所定の時間で作業を行った。

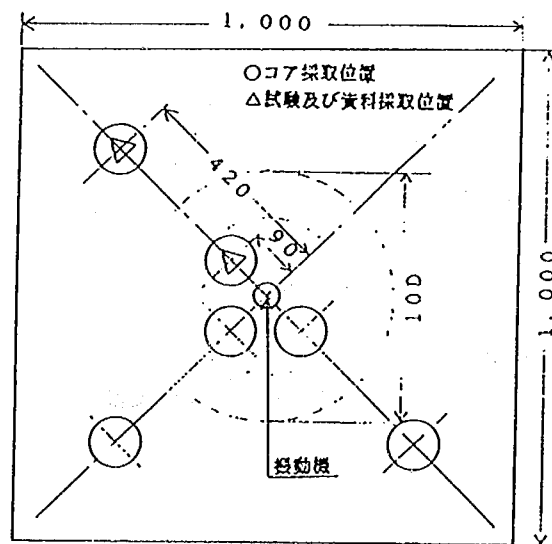


図-6.21 試験、資料採取及びコア採取位置

6) コンクリート試験資料採取位置及びコア採取位置

締固め前後に行う各種のコンクリート試験及び資料測定位置並びに硬化コンクリートコアの採取位置を図6.21に示す。

(2) 試験項目

本実験における試験項目は、表-6.6のとおりである。

表-6.6 試験項目表

試験項目	J I S規格又は器具	締固め前	締固め後
スランプ	J I S A-1101	○	○
〃 (簡易測定)	「トーラム」	○	○
ブリージング	J I S A-1123	○	-
〃 (観察)		締固め中	
密度測定	R I (H=20α)SRDH-2S	○	○
締固め度	コーンペネトロメータ	○	○
単位重量	J I S A-1116	○	○
空気量	J I S A-1128	○	○
コンクリート温度	棒状水銀温度計	-	○
圧縮強度	J I S A-1108	-	○

なお、スランプ簡易測定「トーラム」は、カナダ・サスカチュワン大学Dr. K. W. Nasserによって考案された測定方法で、15.0φ×300mmの円筒形器具をコンクリートの中に挿入し、スランプ値を直読するものである。

また、R I 水分密度測定は、6.3.2で説明したとおりである。

(3) 解析方法

実験については、中部及び中国兩地建が分担したが、実験値の解析は、兩地建のデータを合せて解析する。

なお、生コンクリートの品質にバラツキが考えられることから、一部実験を併行しており、兩データを補正する方法で処理する。

6.5.2 実験結果

(1) 締固めの定義

現場に搬入され、型枠内へ投入されたコンクリートは、そのすきまに多量の空気を含む。この空気や間げきをそのままにしていると、圧縮強度が低く、長期的な抵抗性を損なうことになる。これらの弊害を少なくするため、コンクリート振動機を使用する。コンクリート振動機をかけすぎると、表面部の圧縮強度はみかけ上増加するが耐久性の面からはよくない。このため最適締固めを圧縮強度の面からのみ判断することは、問題があることが判明した。そこで、最適締固めの定義を多くの面からとらえ、『配合強度を満足するのみでなく、コンクリート内部の空気量が少なく、打設した構造物の上下層の密度、骨材占有率が同一で均密化していること』と考えた。

(2) コンクリート振動機の振動数別による締固め効果

コンクリート振動機には、振動数によって高振動～低振動のものがあるが、アンケート結果によると現場では、高振動棒状振動機が使用されているのが実態である。このため、周波数変換機によって高振動13,000vpm、低振動8,000vpmに固定し、実験を行った。この結果、ブリージングの範囲(図-6.18)、圧縮強度(図-6.19)、密度(図-6.20)ともに差が認められ、高振動棒状振動機の締固め効果が高いことが確認され、今後の実験を高振動型で行うこととした。

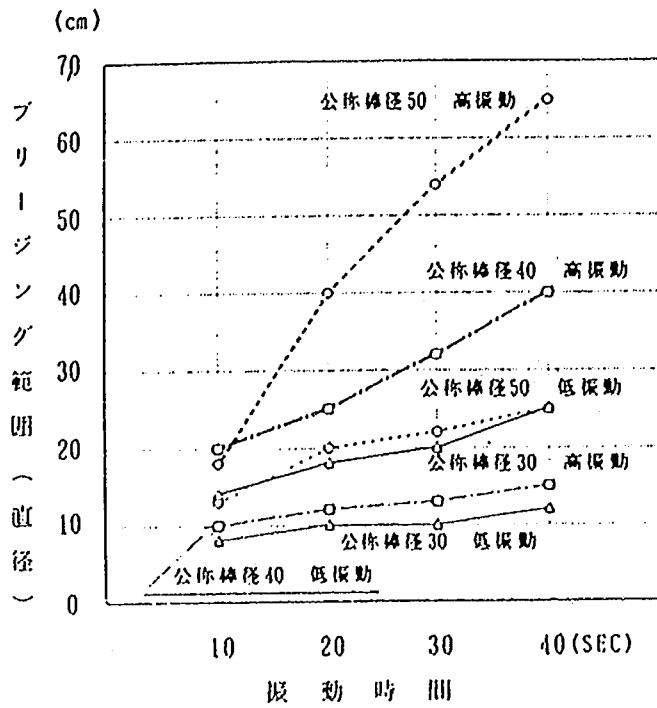


図-6.18 ブリージング観察による影響範囲測定結果

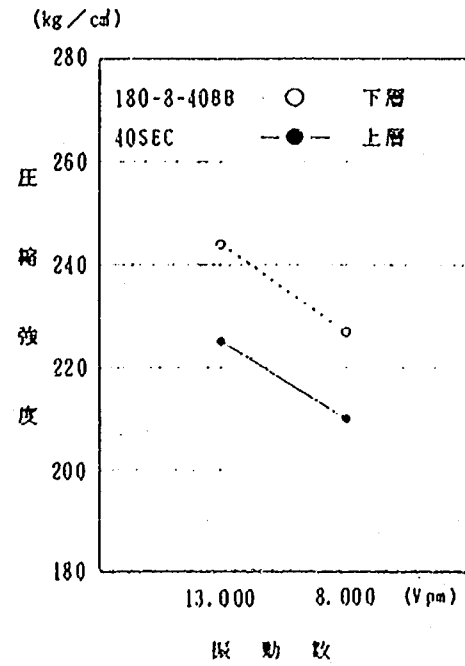


図-6.19 振動数と圧縮強度の関係

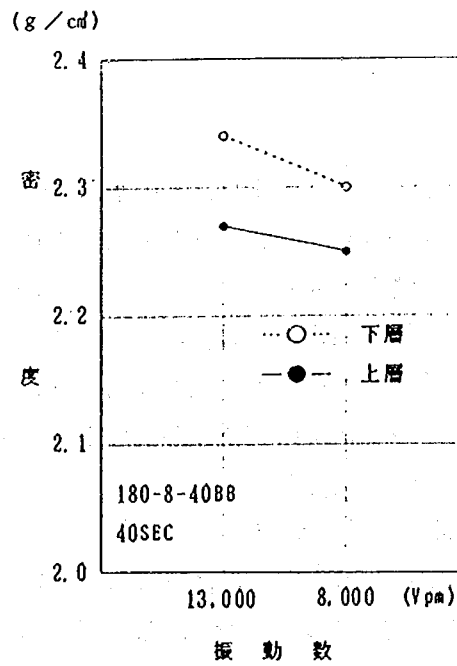


図-6.20 振動数と密度の関係

(3) コンクリート振動機の公称棒径別による締固め効果

公称棒径別の締固め効果は、図-6.21にみられるとおり圧縮強度で50mm, 40mmと30mmのグループに分かれるが、密度では図-6.22に示すとおり差が見られなかった。

(4) コンクリートの種類による締固め効果

コンクリートの種類によって w/c が異なり、 w/c の差がどの程度締固めに影響するか、公称棒径別に検討した。

今回のコンクリートは、 w/c が62%と高く、単位推量を較べると

180-8-40 $175\text{kg}/\text{m}^3$

180-8-40 $160\text{kg}/\text{m}^3$

180-5-40 $155\text{kg}/\text{m}^3$

となっているが、圧縮強度（図-6.23）と密度（図-6.24）の傾向が異なり、関係は見出せなかった。

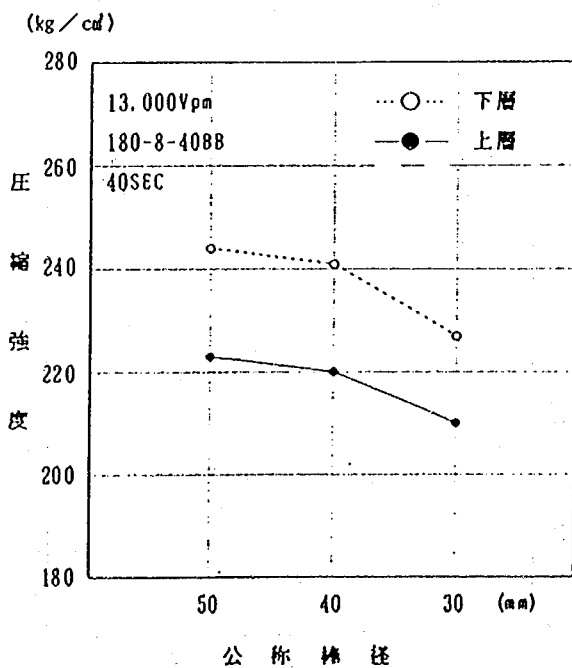


図-6.21 公称棒径と圧縮強度の関係

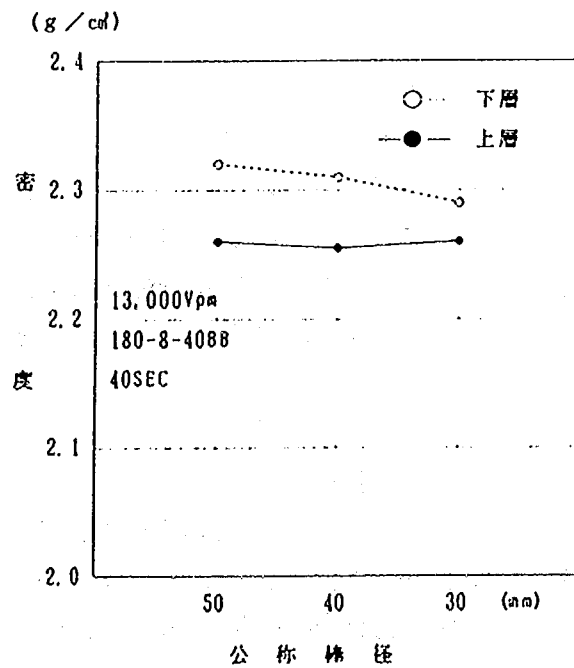


図-6.22 公称棒径と密度の関係

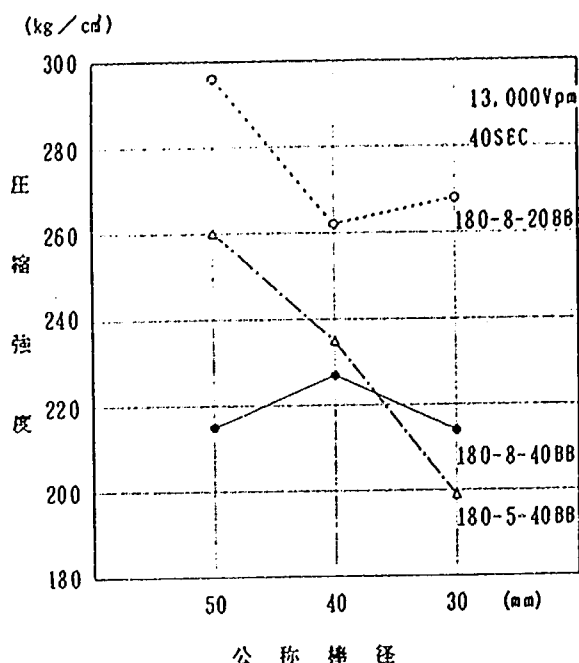


図-6.23 公称棒径と圧縮強度の関係

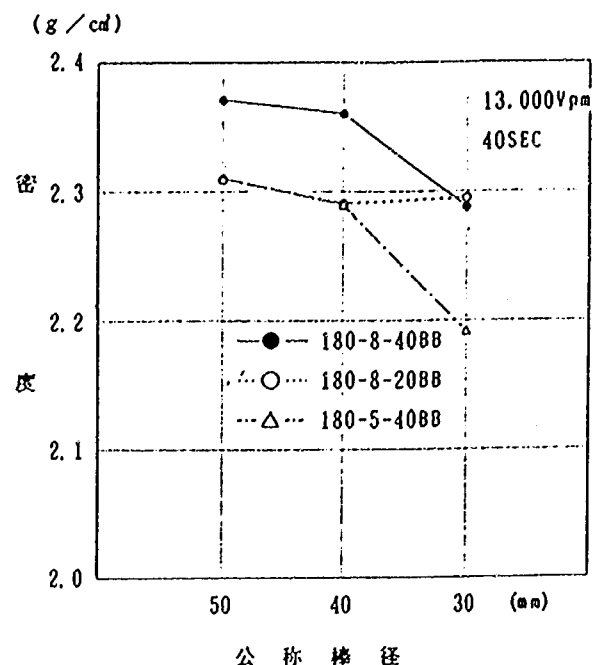


図-6.24 公称棒径と密度の関係

(5) 締固めの時間による締固め効果

図-6.25に振動時間と圧縮強度の関係を示すが、コンクリートの最適締固め時間を検討した結果、圧縮強度では、振動時間が10~20秒における強度が上層、下層ともに高い傾向を示し、10~20秒間に最適締固め時間があることが判明した。

6.5.3 振動時間の検討

前年度の実験結果、最適締固め時間は、10~20秒が最適という結論を得たため、20秒以下について細かく実験を行い、検討を加えた。

(1) 圧縮強度

圧縮強度の面からは、図-6.26のとおり10秒と15秒が上層と下層の値が同じ値に近づき最適締固めといえる。

(2) 密度

密度の面からは、図-6. のとおり上層では10秒が、下層では15秒が最大の値を示し、10秒が上層、下層の値が近づき最適締固めといえる。

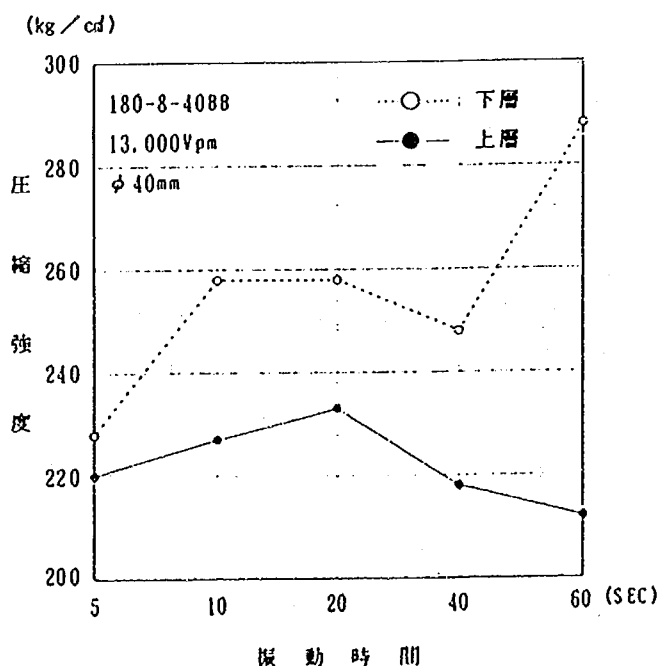


図-6.25 振動時間と圧縮強度の関係

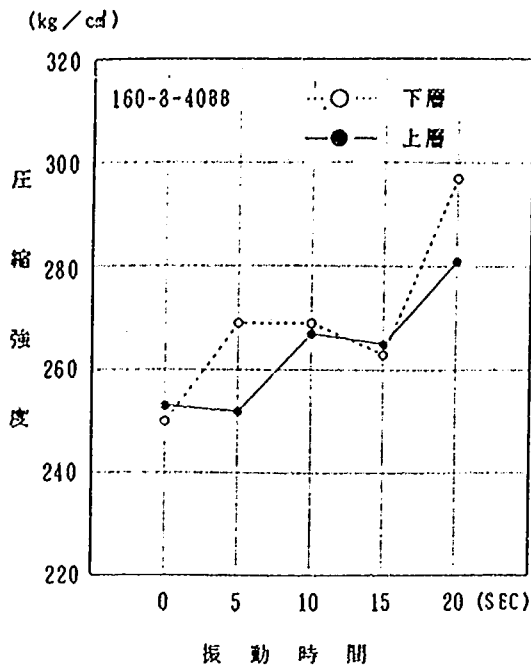


図-6.26 振動時間と圧縮強度の関係

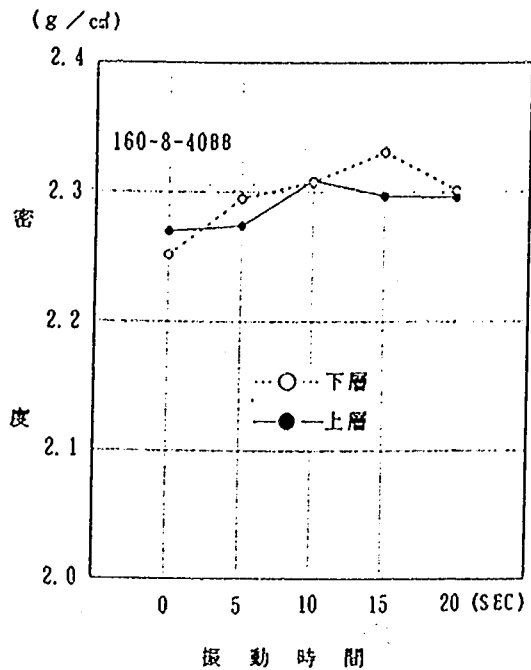


図-6.27 振動時間と密度の関係

(3) 骨材占有率

コアー供試体を3断面に切り取り5mm以上の骨材占有率を計測し、振動時間との関係を示したものが図-6.28である。これから見ると、10秒を境にして上層と下層が逆転している。これは、15秒をすぎると骨材分離傾向が現われてくるものと推測される。この結果、10秒が最適締固めといえる。

(4) ボイド百分率

振動時間を変えた各供試体より直径3mm以上のボイドを計測し、振動位置からの距離との関係を示したのが図-6.29である。この結果、影響範囲内では10秒程度で無振動の約半分となっている。

これらのボイドの形をスケッチすると、図-6.30のとおりとなり、ジャンカが振動することにより集まって丸くなり上昇していくのがうかがえる。

(5) 振動時間

以上の結果を総合的に判断すると、10秒程度の振動が最適と判断する。

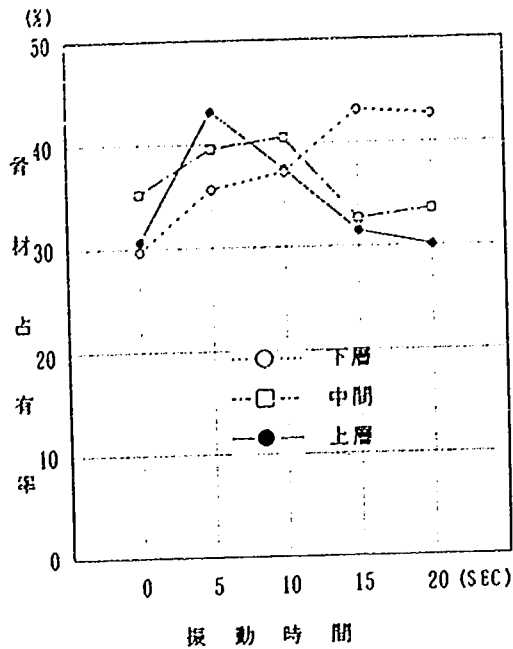


図-6.28 振動時間と骨材占有率の関係

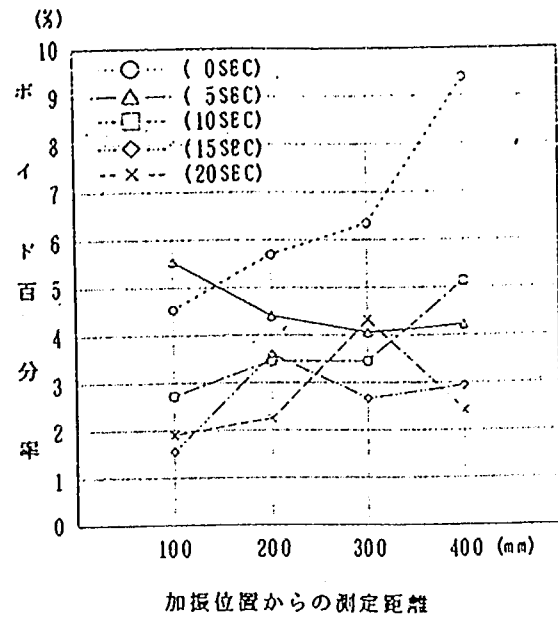


図-6.27 加振位置からの距離とボイド百分率の関係

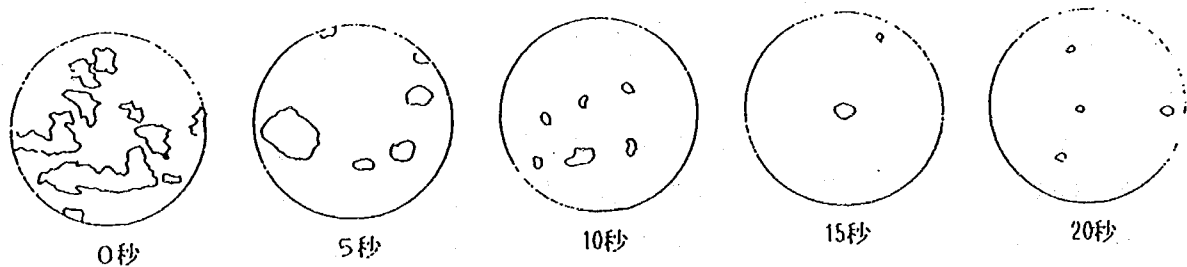


図-6.30 ボイドの変化図

6.5.4 振動間隔の検討

(1) 加速度計測

最適振動時間が10秒という結論を得たので、振動時間を10秒に固定し、実施工を考え、構造物幅20cm及び30cmのケースにおける振動間隔を検討した。

コンクリート振動締固め時の振動加速度と距離減衰の状況を加速度計を用いて計測したが、加速度の減衰曲線は、10D/2程度までφ30mmとφ40mmが図-6.31に示すように同じ傾向を示している。また、理論減衰線より減衰が大きいが直線となり、妥当な減衰線といえる。

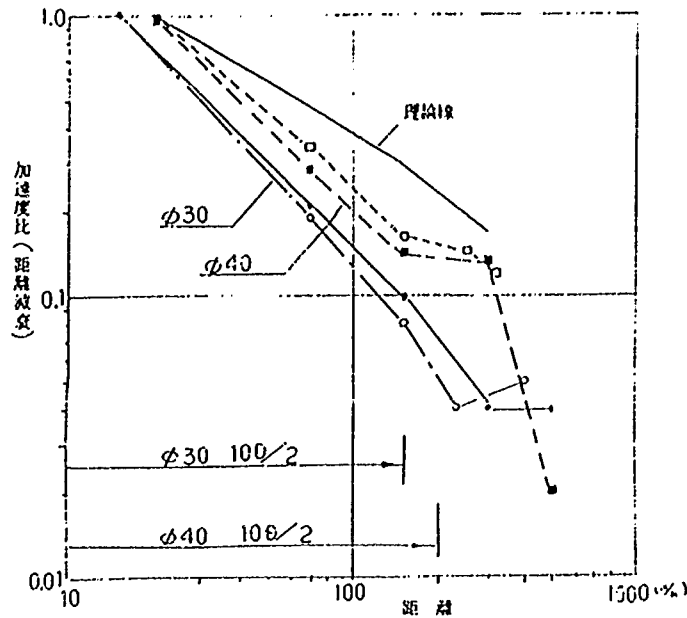


図-6.31 コンクリート中の加速度減衰状況

(2) 公称棒径 $\phi 30\text{mm}$ 加振による圧縮強度、密度の関係

本実験の振動位置、加速度計設置位置等は、図-6.32に示すとおりである。加速度計測結果を図-6.34、図-6.35に示すがA点を加振した場合に $10D/2$ 付近では、0.1の減衰であった。しかし、B点加振においては、 $10D/2$ 付近では、0.2の減衰に変化している。B点加振の左右についてみれば、明らかに右側よりA点側が大きくA点加振との相乗効果が現れているものと推測される。以上の加速度測定結果は、図-6.35、図-6.36に示すとおり、A-B間で、圧縮強度、密度ともに均一化していることから、振動が締固めに有効に働いていると言える。

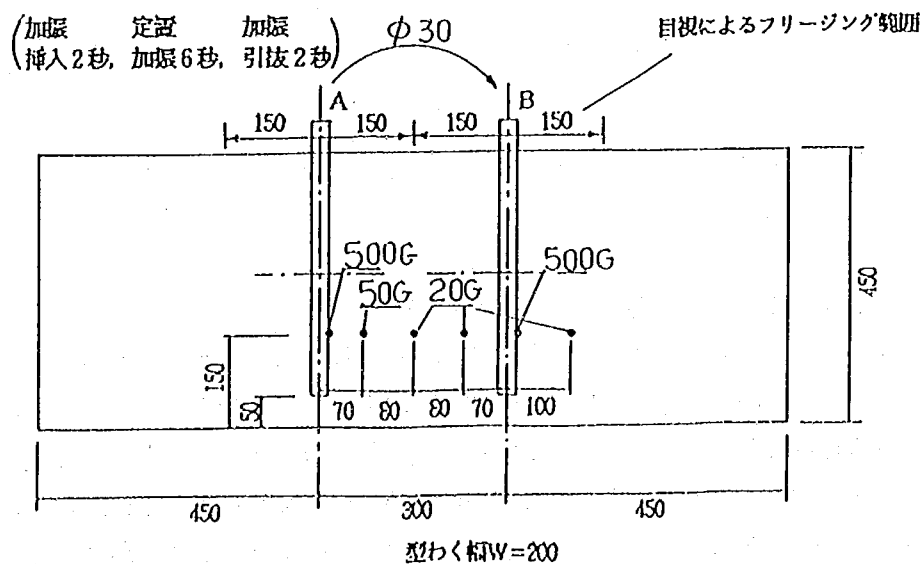


図-6.32 振動位置と加速度計設置位置

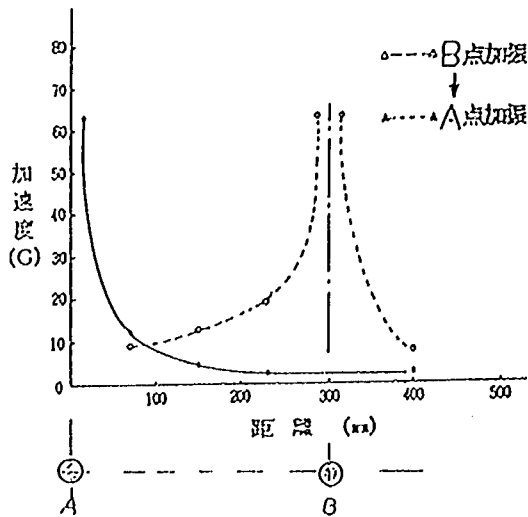


図-6.33 加速度分布図

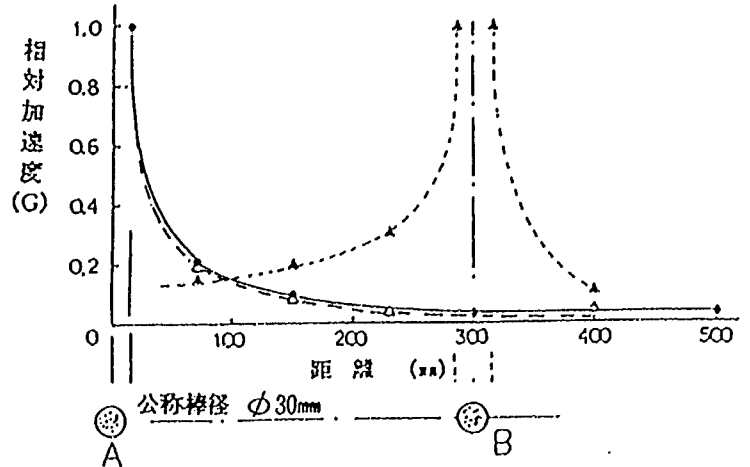


図-6.34 加速度の距離減衰

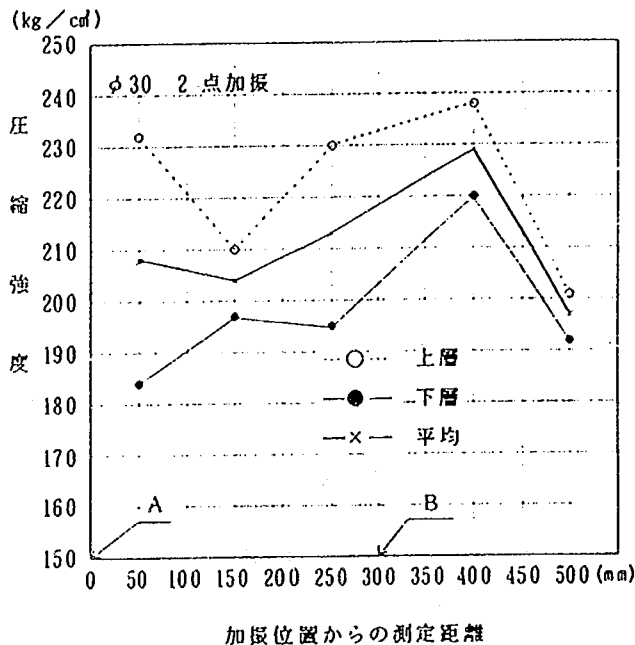


図-6.35 加振位置からの距離と
圧縮強度の関係

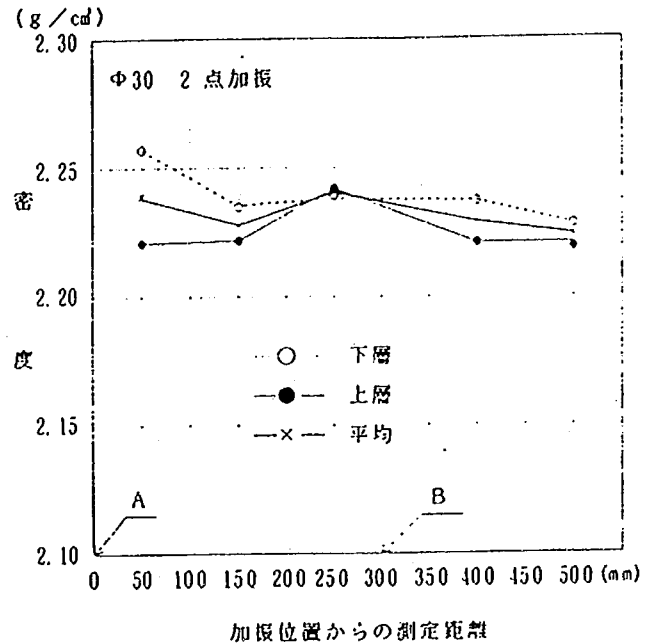


図-6.36 加振位置からの距離と
密度の関係

(3) 公称棒径φ40mm加振による圧縮強度、密度の関係

公称棒径40mmの場合の実験状況は、図-6.37に示すとおりである。その測定結果は、図-6.38、図-6.39に示すとおりであるが、A点及びB点への加振時のA-B間の減衰は0.1程度であり、φ30mmのような相乗効果はみられなかった。しかし、密度及び圧縮強度の面からみると図-6.40、図-6.41にみられるとおり、B点の左右では差がありA-B間の締め固め効果は現われているが両者ともバラツキが出ている。加速度の減衰性状からみるとφ30mmとφ40mmでは、その傾向が同じであり、A-B間の間隔を狭めれば、効果が現れるものと推測する。

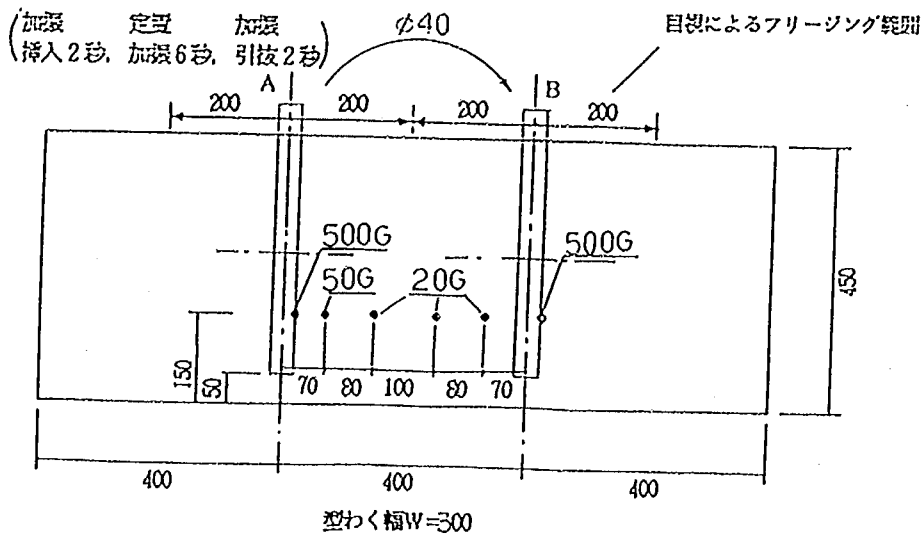


図-6.37 振動位置と加速度計設置位置

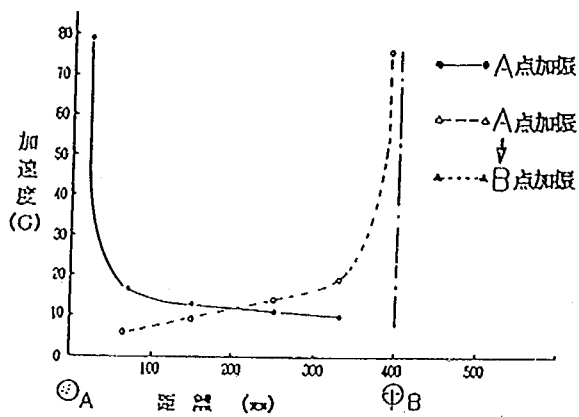


図-6.38 加速度分布図

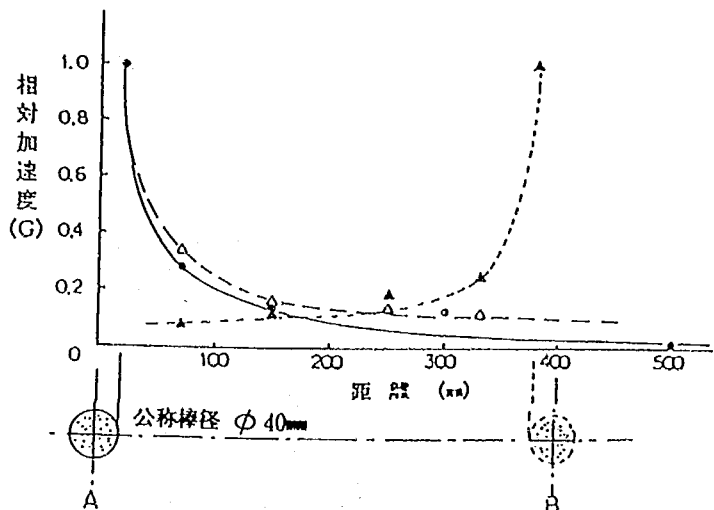


図-6.39 加速度の距離減衰

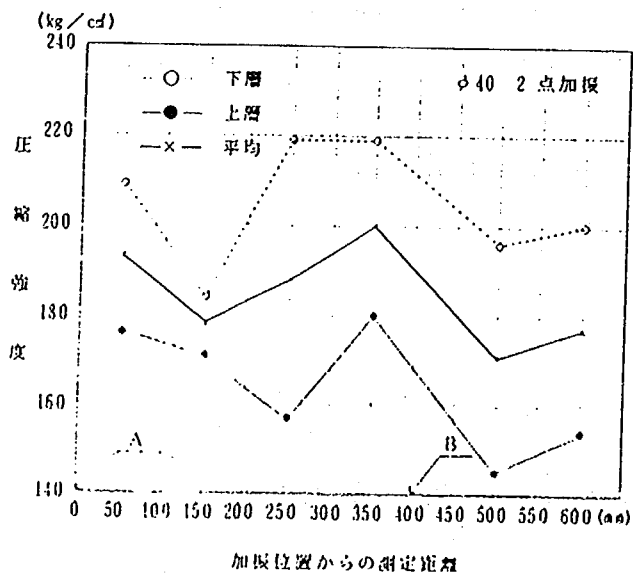


図-6.40 加振位置からの距離と圧縮強度の関係

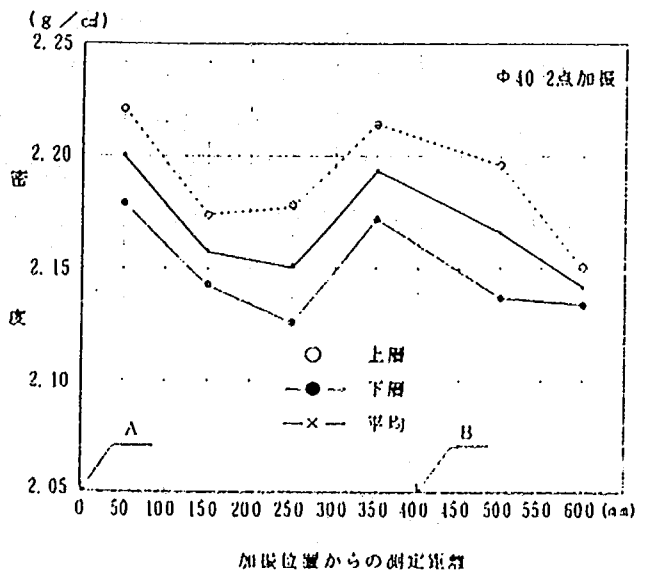


図-6.41 加振位置からの距離と密度の関係

(4) ボイド百分率

図-6.42に示すボイド百分率でみると振動位置付近と端部では、1%の差がでてゐる。また、供試体1.0m×1.0mの場合のボイド百分率より低い値を示しており、型枠幅を狭くした場合の締固め効果が現れているといえる。

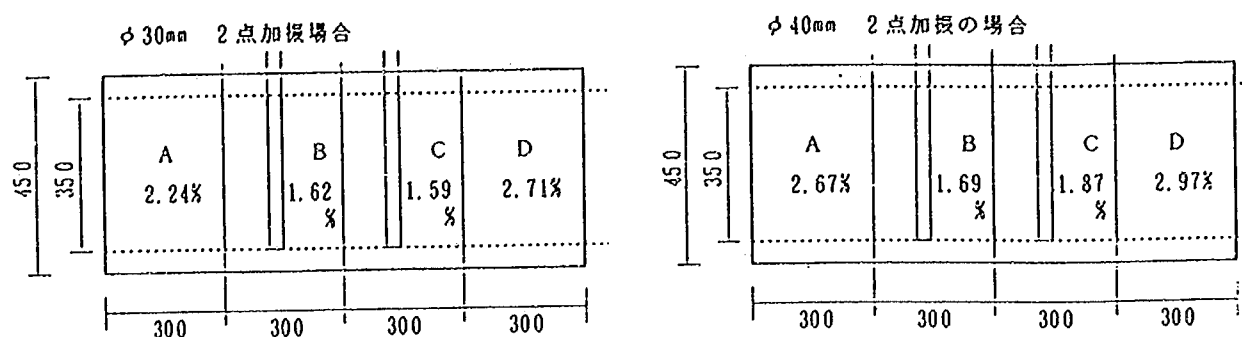


図-6.42 ボイド百分率

(5) 振動間隔

以上の結果、20cm幅の構造物には、公称棒径30mmの10D=30mmの間隔でよいが、30cm幅の構造物には、公称棒径40mmの10D=40cmの間隔では問題が残る、ブリージングの影響範囲から検討すると7.5D=30cmの間隔がよいと推測される。

6.5.5 過振動について

普通のコンクリートの打設には、ほとんどコンクリート振動機が使用されているが、振動機をかけ過ぎると材料分離を起し「砂ボロ」現象を起すと言われている。振動機をかけ過ぎると構造物の上下で、密度は下層が大きく上層は小さい、逆に圧縮強度は、上層が大きく下層は小さいという結果が得られた。これは、写真-6.2に示すようにコンクリートが材料分離を起し、上層にモルタルが集まり下層に粗骨材が沈下し、モルタルのセメント強度が発現したものである。

特に、骨材分離を起した構造物は、凍結融解の面からも劣る点が確認されている（写真-6.3，表-6.7）。この状態は現場施工上からも陥りやすい盲点である。

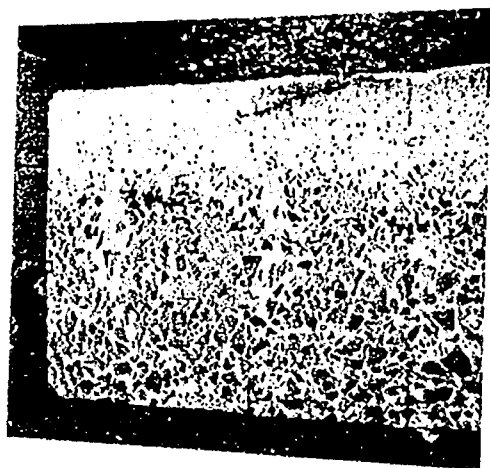


写真-6.2 骨材分離の状況

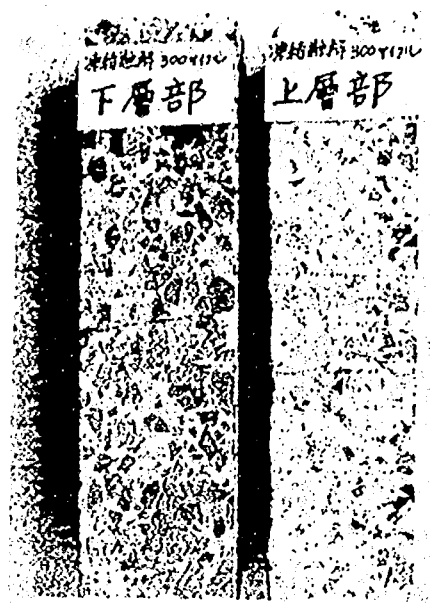


写真-6.3 凍結融解試験後の状況

表-6.7 凍結融解試験結果

	相対動弾性係数	質量変化率	300サイクル 後の曲げ強度試験
上 層 部	69.5 (%)	92.0 (%)	24.8 (Kg/cm ²)
下 層 部	79.0 (%)	97.7 (%)	25.2 (Kg/cm ²)

6.6 フレッシュコンクリートの施工管理機器

コンクリート工における品質の確保と施工管理手法を確立するために、フレッシュコンクリートの品質をできるだけ短時間に精度よく測定できる機器として、ラジオアイソトープ（放射性同位元素、以下「R I」）を用いた γ 線密度計と中性子水分計により、フレッシュコンクリートの密度測定、水分測定を行い、迅速で精度の高い直接判定法ができるかの確認と、打音法、音速法及びR Iを用いて型枠内にフレッシュコンクリートが隅々まで充填（型枠周辺部の空洞測定）されたかどうか確認する方法の実験を行ったものである。

6.6.1 締固め度管理機器の実験

(1) 実験方法

この実験は、前述のコンクリート振動機の使用手法に関する実験に合せて行ったものである。

締固め度を検討するための項目は、表-6.6に示したとおり、スランプ簡易測定「トーラム」、空気量、R I密度測定、コーンペネトロメータ、ブリージングを測定した。

(2) 実験結果

1) スランプ簡易測定「トーラム」による測定

測定値に大きなバラツキがあり、締固め前・後に明確な関係が見い出せなかった。

2) 空気量測定

図-6.43に締固め前後の空気量の関係を示す。この図からは、締固め後に空気量が小さくなる傾向を示している。なお、締固め度判定の手法としては、締固め後の資料サンプリングの問題があり、実用性には問題がある。

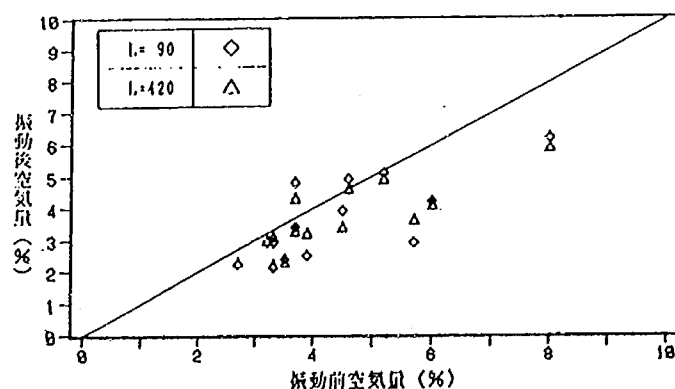


図-6.43 空気量測定結果

3) RIによる密度測定

図-6.44に湿潤密度測定の結果を示す。図にみられるとおり、測定値にバラツキがあり、密度変化をつかむまでに至っていない。

予備実験の結果でもふれられているが、 $H=20\text{cm}$ の土の締固め管理に使用されている測定器であり、測定機器、測定方法について検討を要すると思われた。

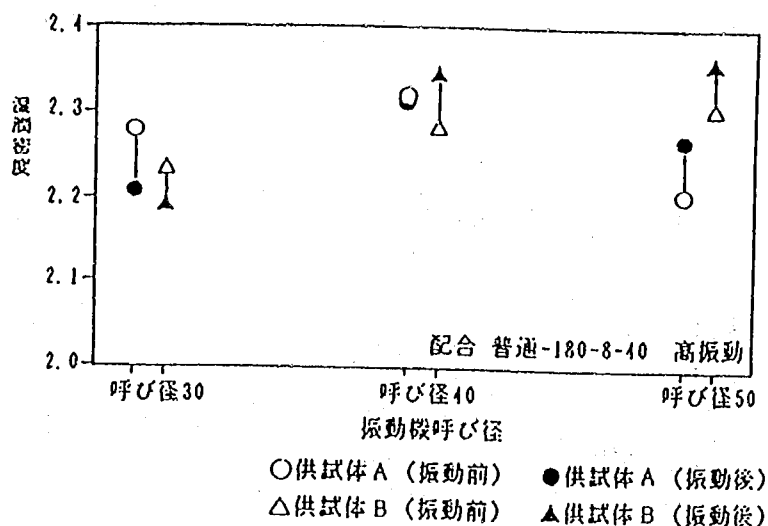


図-6.44 RIによる密度測定結果

(4) コンペネトロメータによる測定

図-6.45にコンペネトロメータによる貫入抵抗値の測定結果を示す。図にみられるとおり、締固め前後の測定値 (q_c) に顕著な差が認められる。締固め後の貫入深度は、骨材が貫入を妨げてバラツキが生じているが、締固め後において、深度とともに q_c の増大が認められた。

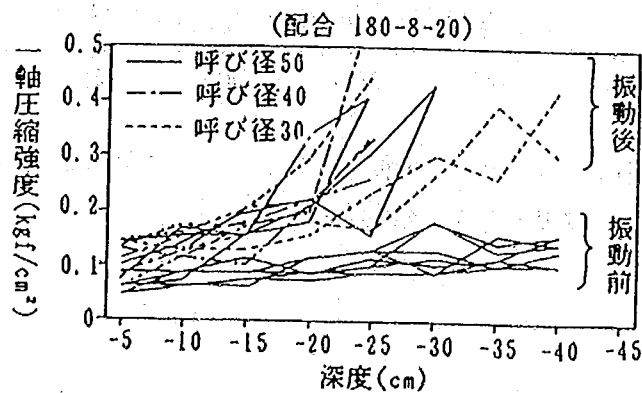


図-6.45 コンペネトロメータによる貫入抵抗値測定結果

(5) ブリージング観察による振動機の締固め効果

今回の実験で振動機による加振時間の変化、振動数による影響を締固め作業中のブリージングの発生状況と突き合わせてみた。

図-6.46は、振動数（高・低振動別）と加振時間によるブリージングの発生状況を示す。この結果では、振動数の影響が加振時間10秒を超えたところから、高振動の方で効果が顕著に現われている。また、振動棒径の差もはっきり現われており、径の大きいものが効果が大きいことを示している。

図-6.47は、振動棒呼び径40mmの場合のスランプ別、最大骨材径別の影響をみたものであるが、顕著な差が現われなかった。

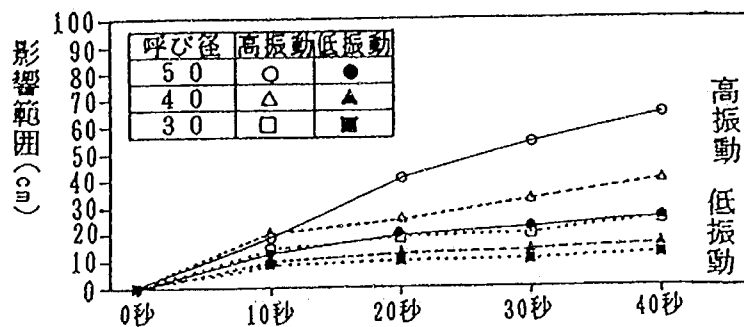


図-6.46 各種振動機による締固めとブリージング発生状況

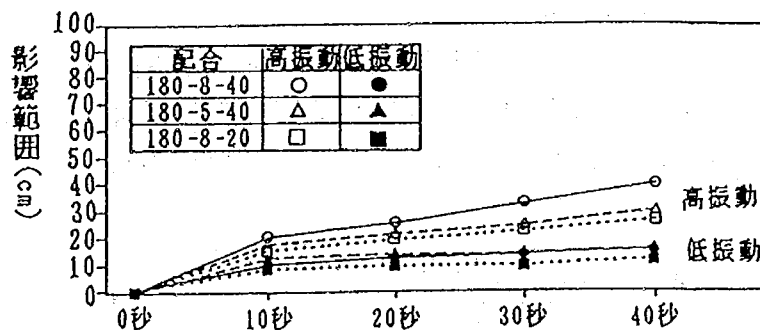


図-6.47 コンクリートの種類（スランプ、最大骨材別）とブリージング発生状況

6.6.2 実験方法

R I 計器を用いてフレッシュコンクリートの密度や含水量を測定するために、フレッシュコンクリートの密度や水分量と、R I 計器で測定する計数率との関係をあらかじめ較正式として求めておく必要が

ある。今回の実験では、較正式を作成するための試験（較正試験）と、較正式の検証のための試験（検証試験）を実施した。

(1) 実験フローチャート

図-6.48に密度、水分測定実験のフロー図を示す。

(2) 較正式作成のためのコンクリートの配合

密度、水分と計数率の較正式を求めるために、コンクリートの配合を表-6.8に示した。そして、密度と水分の範囲を広くとったものを9配合用意し、測定容器への充填の程度を変えて、ゆるいものと良く締固めたものの2段階で測定を行った。

また、検証用のコンクリートの配合は表-6.9に示した。

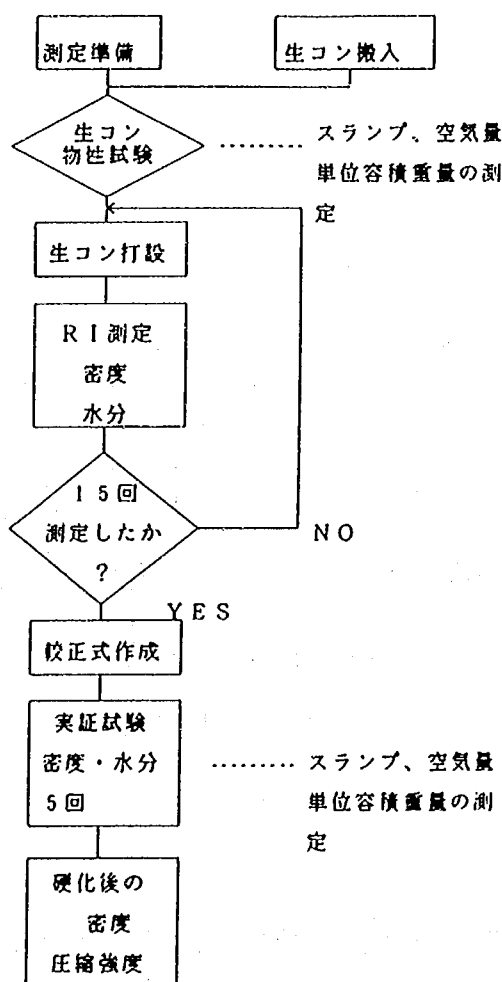


図-6.48 密度、水分測定実験のフロー図

表-6.8 較正式作成のためのコンクリートの配合

No	配合 番号	単 位 量 (kg / m ³)						密 度 (t / m ³)	W / C (%)
		普 通 セメント	水	細骨材 (川砂)	細骨材 (山砂)	粗骨材 (砂利)	粗骨材 (碎石)		
1	4	358	161	213	498	541	541	2.312	45
2	2	454	159	187	437	548	548	2.333	35
3	7	296	163	237	556	521	521	2.294	55
4	10	255	166	248	582	516	516	2.283	65
5	12	249	187	267	625	459	459	2.246	75
6	15	544	245	419	981	0	0	2.189	45
7	3	474	166	183	428	537	537	2.325	35
8	5	330	159	221	518	541	541	2.310	48
9	※1	544	245	419	981	0	0	2.189	45

※1 No.6の配合の混和剤の量を変化させたもの

表-6.9 検証のためのコンクリートの配合

No	配合 番号	単 位 量 (kg / m ³)						密 度 (t / m ³)	W / C (%)
		普 通 セメント	水	細骨材 (川砂)	細骨材 (山砂)	粗骨材 (砂利)	粗骨材 (碎石)		
1	1	454	159	187	435	550	550	2.337	35
2	2	364	164	211	491	539	539	2.312	45
3	3	311	171	235	547	511	511	2.290	55
4	4	283	184	252	586	477	477	2.263	65
5	5	260	195	270	628	441	441	2.239	75
6	※2	474	166	183	428	537	537	2.325	35

※2 表-6.1のNo.7の配合の混和剤の量を変化させたもの

(3) 密度、水分測定方法

密度計による計測方法は、図-6.49に示すように、4方向、それぞれ2回計数率を測定した。また、水分計も図-6.49に示すように、2方向、それぞれ2回計数率を測定した。

(4) 密度、水分測定容器

測定に用いる容器はφ360×H360 (mm)(内容量35リットル)のホーロー製の容器とした。

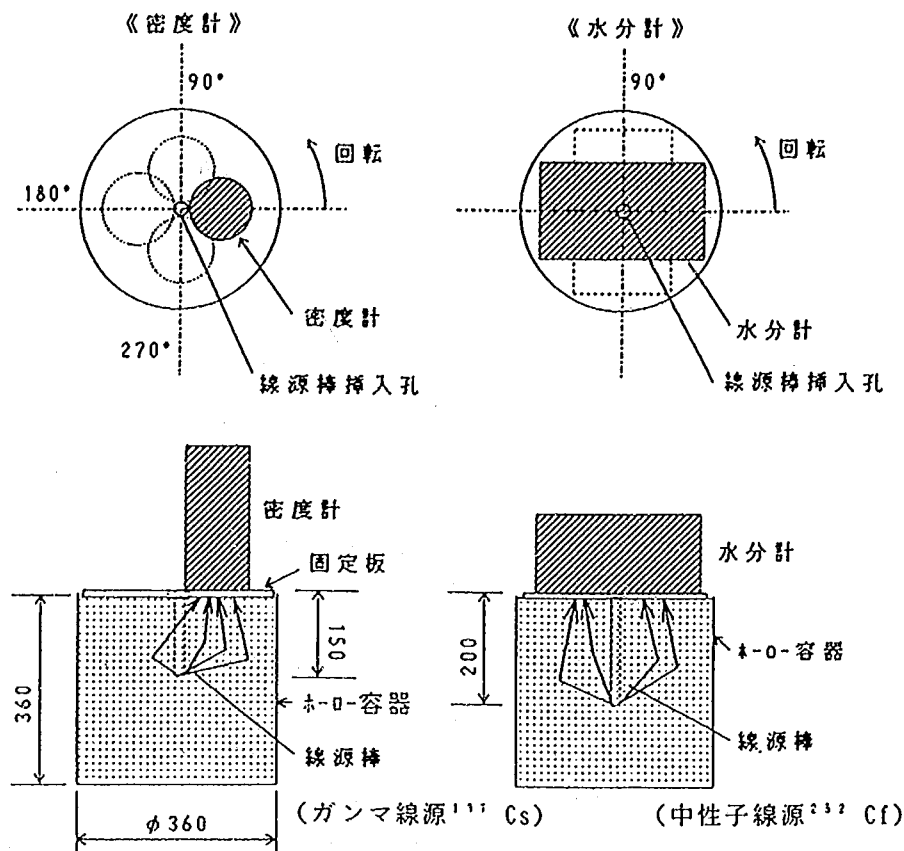


図-6.49 密度・水分計

6.6.3 主要測定機器

実験に用いた主な測定機器は、表-6.10の通りである。原理については次の通りである。

表-6.10 主要測定機器一覧表

測定項目	測定方法	測定機器・形式	製造会社	備考
密度測定	R I 法	表面透過型ガンマー線検出器 (密度計)	(株)フィールドテック	γ線検出器改良型
水分測定	R I 法	表面透過型中性子水分検出器 (水分計)	(株)フィールドテック	
空洞測定	打音法	ビートウォールT TRX2199	大成建設(株)	
	音速法	エルソニックアナライザー ESI-10、ESP-10、FFT、	東横エルメス(株)	測定器センサー分析器
	R I 法	表面散乱型中性子水分計	(株)フィールドテック	

(1) 表面透過型ガンマー線検出器 (密度計)

密度測定にはガンマー線(線源: ^{137}Cs)を用いた密度計を使用した。この密度計はシンチレーションカウンタというガンマー線検出器を使用し、現在、土の密度測定に使用されているGM管(ガイガー・ミュラー)に比較して精度を向上させたものである。(本機で、均質物質による精度実験を行った結果 $\sigma=0.003(\text{g}/\text{cm}^3)$ とよい結果を得たものである。)

(2) 表面透過型中性子水分検出器 (水分計)

本実験に使用した水分計は透過型あるいは速中性子検出方式と呼ばれるものである。これは、その名のごとく、物質中で熱中性子になりきらない状態で表面へ透過してくるエネルギーレベルの高い中性子束を検出する方法である。

6.6.4 実験結果

(1) 密度測定

図-6.50は密度の校正試験の結果を示したものである。透過型ガンマー線密度計の校正曲線は一般には指数関数で表されるが、ここでは一次式による回帰式とした。

図に示された関係の相関性は高いものの、データのバラツキも生じている結果となっている。そこで、校正曲線と個々の実測データとの誤差を図-6.51に示した。

RI計器は線源の深さが15cmであるために、供試体の比較的上部の密度を計測しており、材料の分離の程度などによって誤差の生じる原因となったものと考えられる。

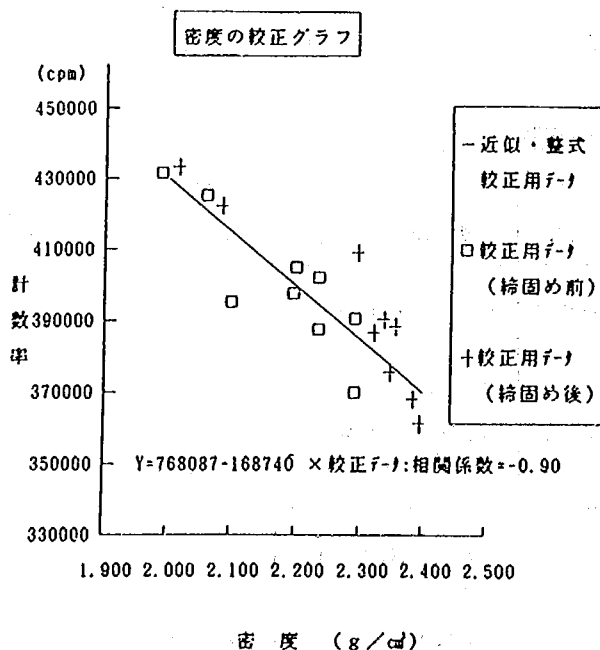


図-6.50 水分と計数率の関係

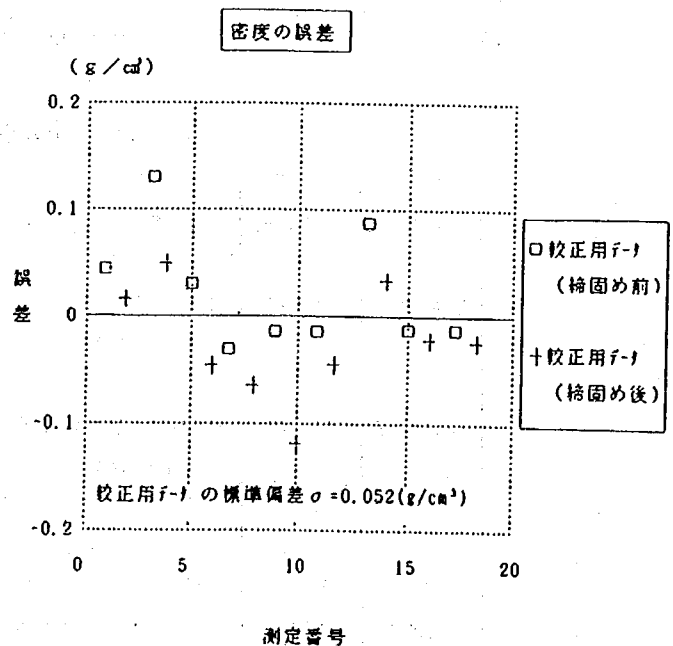


図-6.51 水分の誤差

(2) 水分測定

図-6.52は密度測定同様に水分の校正式を示したものである。また、図-6.53は、同じく個々のデータの校正曲線からの誤差を示したものである。

生コンクリートでは、土などの材料と異なり水和反応がすすむことなどを考慮して、今回の実験では、水分量を供試体の密度と材料の計量値および材料の含水比から計算により算出したものとした。したがって、誤差の原因に密度の誤差の影響を受けたものとなっており、誤差の標準偏差は $0.009(\text{g}/\text{cm}^3)$ となった。

検証試験のデータの中には校正式と一致せず、比較的大きな誤差を生じているものがある。この傾向は、スランプの大きなものについて顕著となっている。

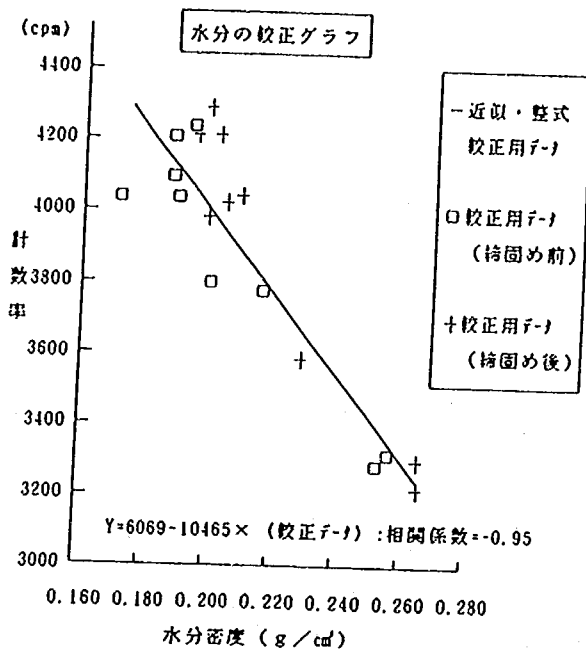


図-6.52 水分と計数率の関係

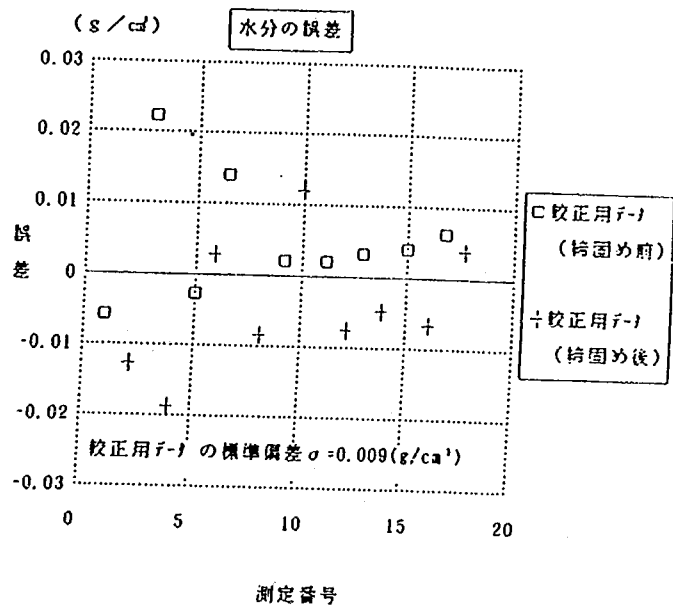


図-6.53 水分の誤差

(3) 測定値とコンクリートの物性値との関係

図-6.54～57は物性試験の密度と計数率と対応させ校正式を求めたものと、それぞれの誤差を示したものである。これらの結果から、誤差の標準偏差 $\sigma = 0.020(\text{g}/\text{cm}^3)$ となり、かなり改善されることが分かる。したがって、供試体の作成と測定方法(校正系数)を検討することで、誤差はさらに減少させることが可能と思われる。

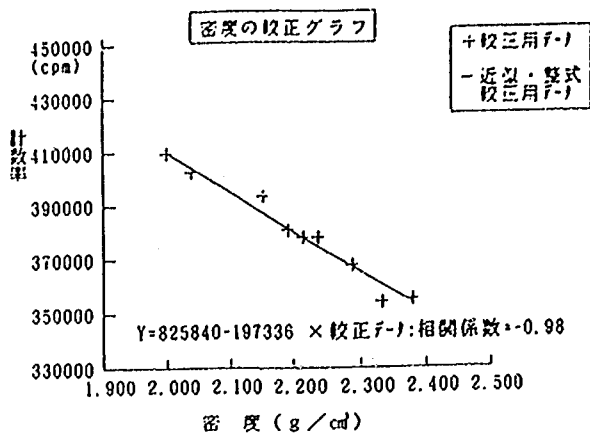


図-6.54 密度と計数率の関係

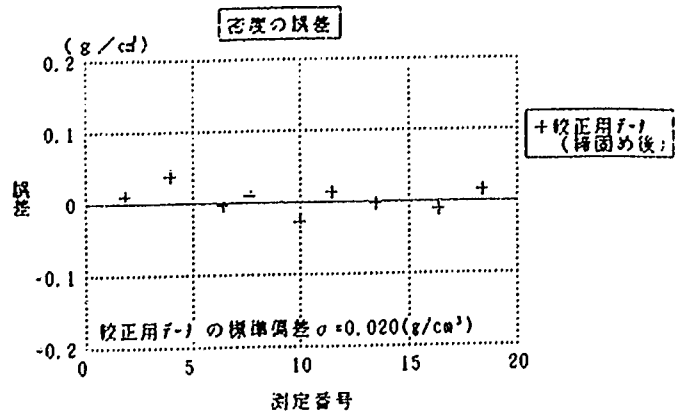


図-6.55 密度の誤差

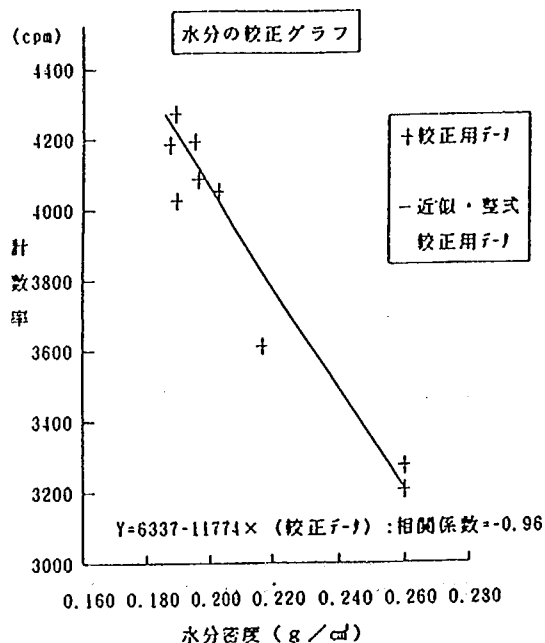


図-6.56 水分と計数率の関係

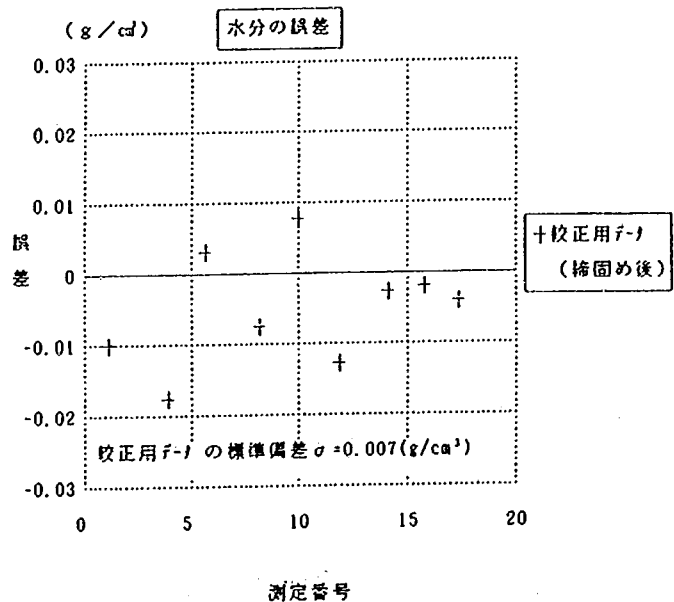


図-6.57 水分の誤差

スランプと密度の誤差の関係については、図-6.58の結果となった。この結果から、密度の誤差がスランプに極めてよく依存していることがわかる。このようにフレッシュコンクリートの密度はコンシステンシーにより変動しやすく、測定にあたっては目的に応じた計測法をとる必要がある。

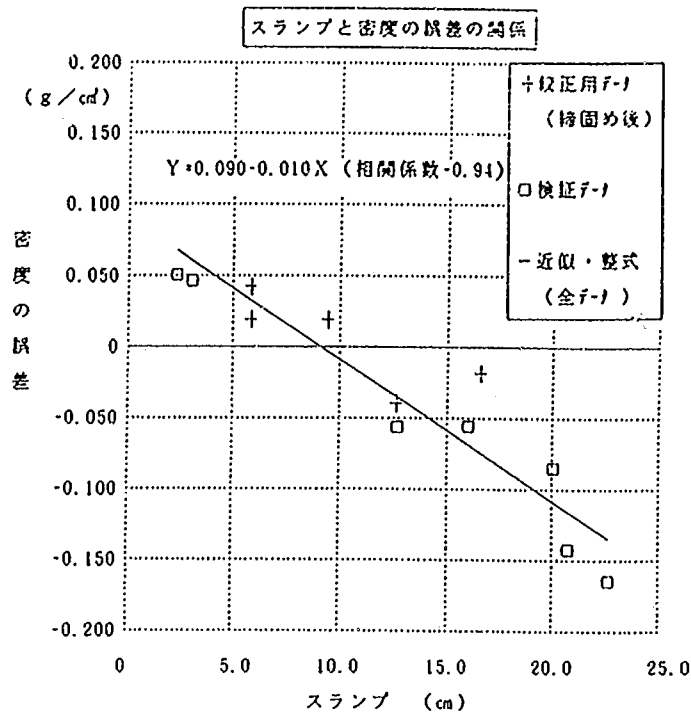


図-6.58 スランプと密度の誤差の関係

6.6.5 空洞測定実験方法

空洞測定実験は、模擬生コンクリートを充填した型枠中に予めモデルの空洞を設けておき、それを打音法、音速法、RI法の3方法にて実験を実施した。

(1) 実験フローチャート

図-6.59に打音法、音速法、RI法の測定実験のフロー図を示す。

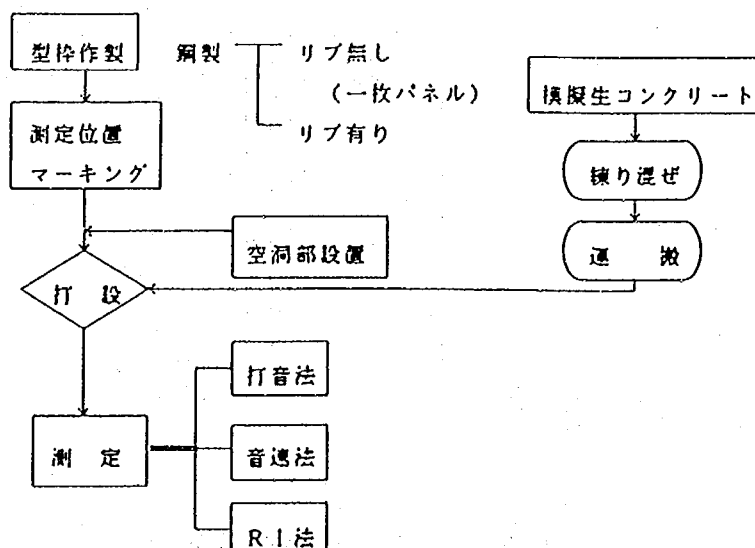


図-6.59 コンクリートの空洞観測調査フロー図

(2) 模擬生コンクリートの場合

模擬生コンクリートの配合を、表-6.11に示すように 180-15-25Nを基準配合とし、普通ポルトランドセメントのかわりに石灰石粉を使用した。

表-6.11 模擬生コンクリートの配合

種 類	単 位 量 (kg / m ³)						
	普 通 セメント	石 灰 石 粉	水	細骨材	粗骨材 (砂利)	粗骨材 (砕石)	混和材 P. No.70
基 準 配 合	250	—	171	831	510	510	0.811
模 擬 生 コンクリート	—	※1 223	171	831	510	510	0.811

※1 石灰石粉の使用量は、普通ポルトランドセメントの容積に相当する量とした。

(3) 空洞測定方法

打音法、音速法、RI法は図-6.60に示す測定点を中心として、各測定機の使用に準じて行った。試験機による空洞検知試験の場合、原則として測定者には、空洞の位置及び形状を明らかにしない状況で行った。

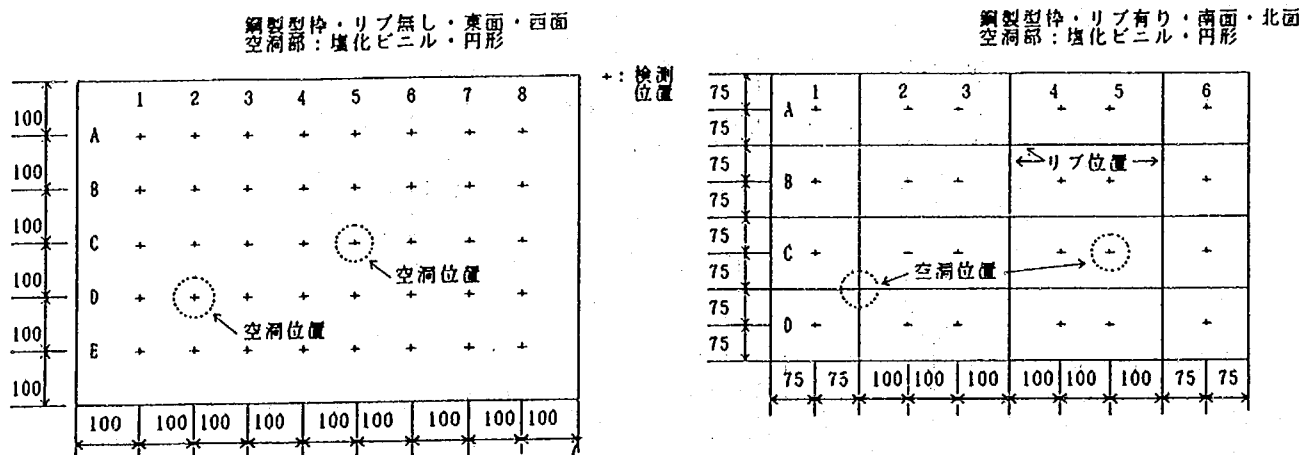


図-6.60 空洞検知実験位置図

(4) 空洞測定型枠と空洞モデル

実験に使用する型枠は図-6.61に示すように、リブのない厚み2mmの一枚板と通常のフラットフォーム(300×900mm)を2段にしたものを相対して組合せ、厚さが10mmの合板に固定したものとした。また、準備した型枠周辺部には、塩化ビニール製のキャップ(φ100×H100)の空洞モデルを、一側面当り2個ずつ設置した。

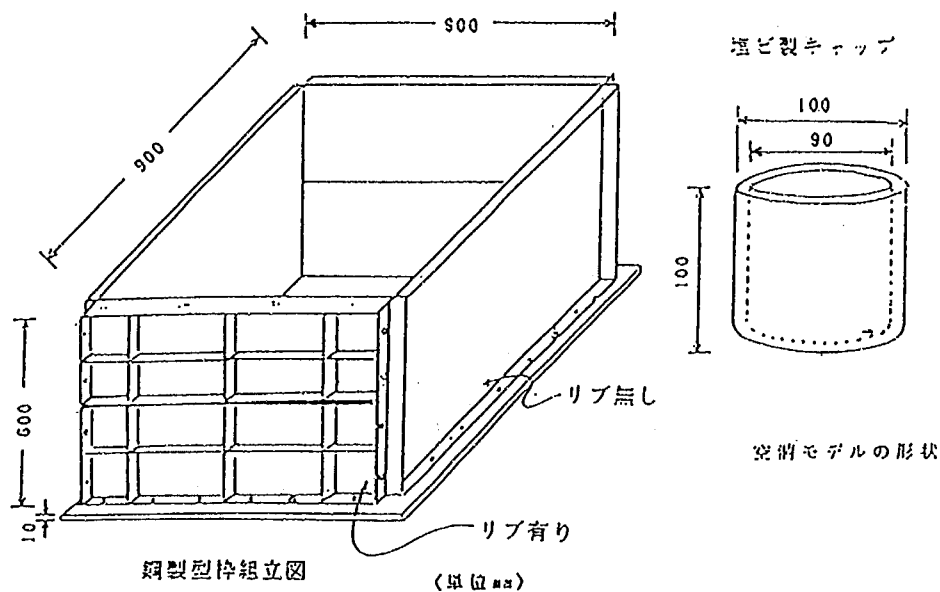


図-6.61 鋼製型枠と空洞モデル

6.6.6 計測方法

(1) 打音法

人がハンマーなどで叩き、音の違いにより判断していた原理を機械化したものである。ハンマー駆動が叩き健全部と空洞部を比較したときの差を定量化し、結果を表示回路と外部装置に出力する。表示回路では、判断結果をもとにランプ(LED)で「青…健全、黄色…剝離有り、赤色…剝離」の如く表示し、視覚により判断できるようになっている。

(2) 音速法

超音波とは、20kHz以上の超音波縦波パルスをコンクリート中に放射し、その伝播時間 t から得られる伝播速度 V (L/t , L :伝播距離)から、コンクリートの品質を評価する方法である。

(3) 表面散乱型中性子水分計(空洞検知)

RI法による空洞検知には中性子(線源: ^{252}Cf)を用いた水分計を使用した。これは、空洞部が他の生コンクリート充填部に比べて水分量が少ないことを利用したものである。

6.6.7 実験結果

(1) 打音法による空洞測定

鋼製型枠内の空洞を検知した結果、ランプ表示による診断結果では、図-6.62に示すように、検知能力が見受けられた。また、リブ付き鋼製型枠については、本機の形状から打撃を加えることができないため検知ができない。

打音法による空洞観測の結果、検知精度も高く、概略的な形状把握も可能といえる。ただし、深さ方向への適応性はない点で、型枠形状が複雑になると調査できないという欠点がある。

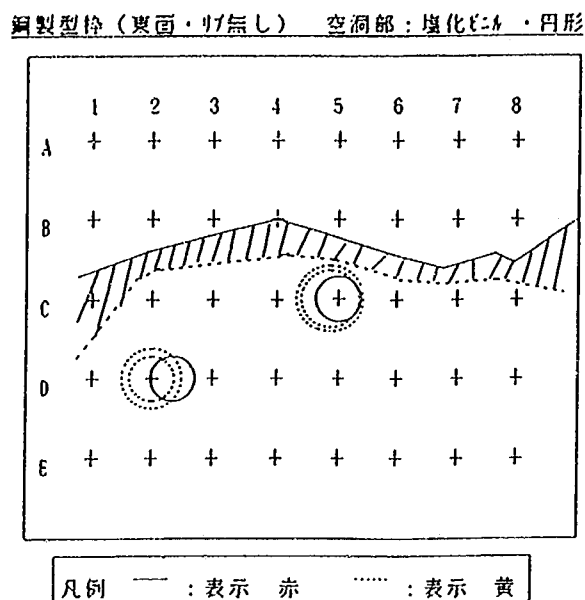


図-6.62 打音法による空洞部

(2) 音速法による空洞

健全部と空洞部の差が、明確となる測定レンジを設定すると、図-6.63に示す結果が得られた。この図から、健全部には見られないピークが空洞部で現れていることが分かる。また、鋼製型枠のリブ有りの場合、リブ直交位置に設けた空洞については、検知能力が若干劣っていた。

今回の試験状況をみると、一般的にコンクリート内部に空洞のような欠陥が有る場合、超音波は減衰すると言われているが、空洞部ほど高い伝播エネルギーが発生していることを考慮すると発振子から送られた縦波を受信したのではなく、表面波、即ち型枠の振動を捕らえていたと思われる。

超音波による音速法は硬化コンクリートへの適応性は高いと言われているが、今回のように型枠で拘束された、しかも、フレッシュな状態においては、空洞部（欠陥部）の検知は難しいものと思われる。

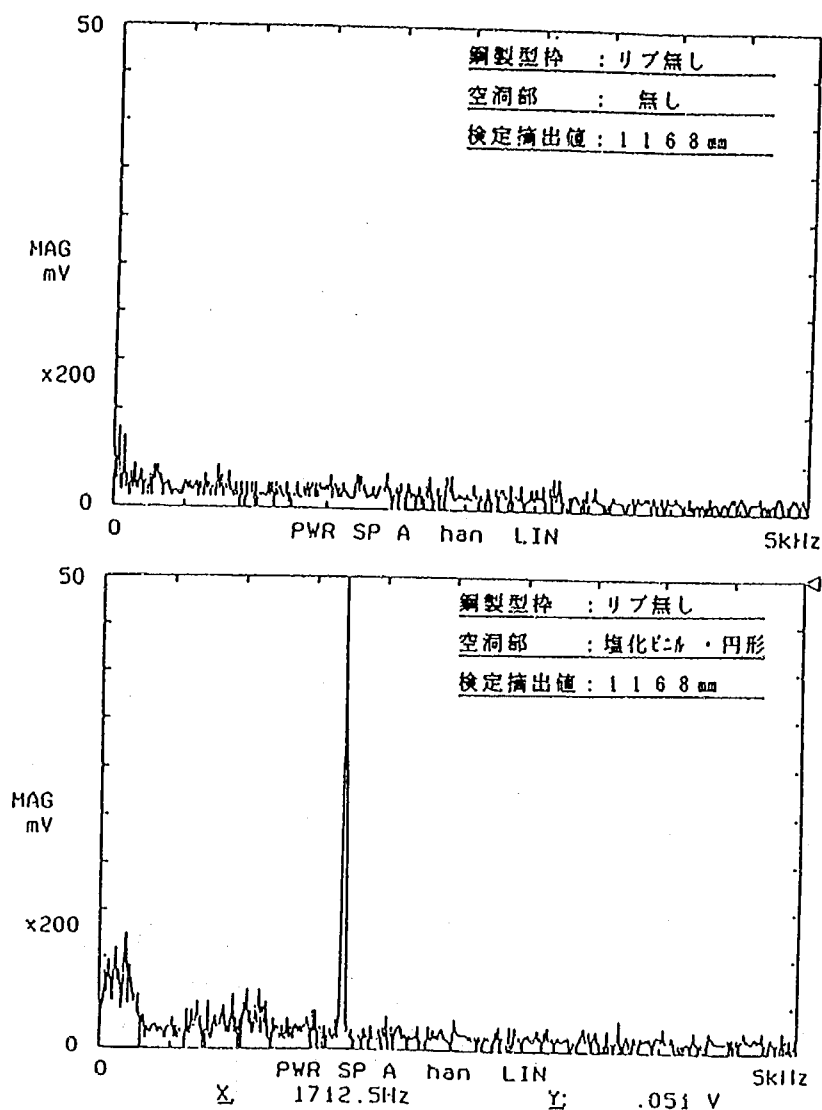


図-6.63 FFTアナライザー処理結果

(3) RI法による空洞測定

検知結果結果を図-6.64に示した。図中の数字はRI測定器の計数率を示し、横書き、縦書きは、測定器の検側向きを示しており、それぞれ左右上下となっている。測定はリブ無し型枠では密着して行ったが、リブ有り型枠では、リブの間隔よりも測定器の方が長く、密着できないため、リブの高さ(5cm)まで浮かせた状態でおこなった。また、一部、計数率を斜体文字で示した箇所は測定器を水平より45°方向で測定した箇所である。

リブ無し型枠では、空洞部位置とその付近では計数率が充填部に比較して減少して検出されている。

リブ有り研枠では、充填部と空洞部では、それぞれの計数率の変化が一定していない。

以上より、リブ無し型枠では計数率を比較することで、空洞位置の検知が可能であるといえる。

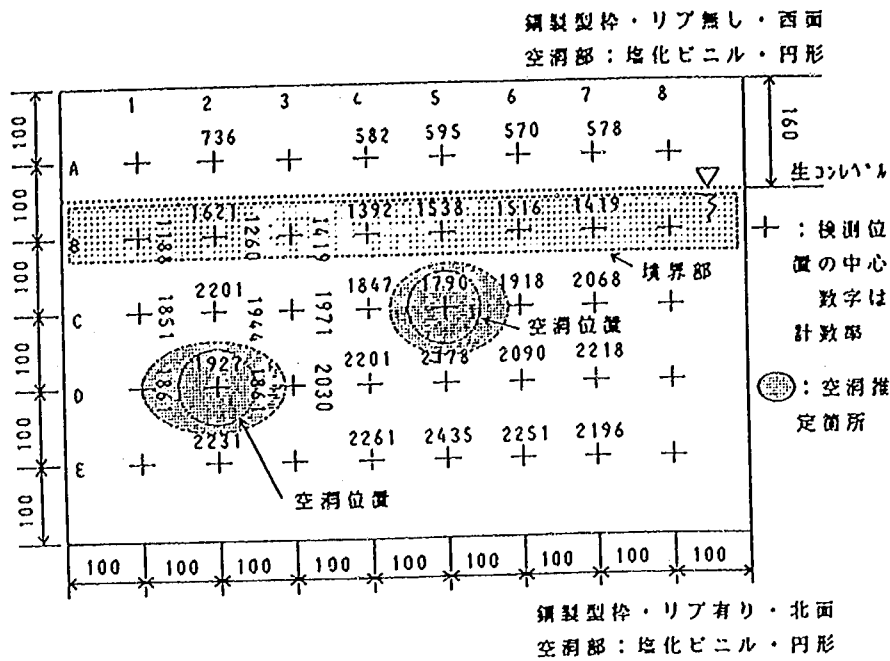


図-6.64 測定結果 (RI法)

6.7 実験のまとめ

6.7.1 直接的品質管理

(1) 密度、水分測定実験

今回の実験で使用したRI密度計は、均質物質での精度実験 $\sigma = 0.003 (g/cm^3)$ の結果を得たものであり、機器の精度としては、問題がないと考えられるが、試験結果としては、もう一步という観がある。結果をまとめると、

- 1) 密度測定においては、較正曲線と個々のデータとの誤差による標準偏差は $\sigma = 0.052 (g/cm^3)$

であった。

2) 水分測定においては、較正曲線と個々のデータとの誤差による標準偏差は $\sigma = 0.009$ (g/cm³) であった。

3) RI計による計数率とJIS法による密度の標準偏差は $\sigma = 0.020$ (g/cm³) となった。

4) 同様での水分は、標準偏差は $\sigma = 0.007$ (g/cm³) となった。

5) JIS法の密度と供試体の密度(縮固め度)の差を見ると $\sigma = 0.033$ (g/cm³) となり、(1)で示した較正曲線とデータとの誤差の標準偏差 $\sigma = 0.052$ (g/cm³) から、その差 $\sigma = 0.019$ (g/cm³) となる。これは、JIS法の密度とRIの密度(線源内の値)の標準偏差 $\sigma = 0.02$ (g/cm³) でも明らかである。

RIの測定誤差 $\sigma = 0.02$ (g/cm³) の中には、コンシステンシーとか、機器及び測定誤差が考えられるので、これらを検討することにより、標準偏差 $\sigma = 0.02$ (g/cm³) 以上の精度で測定が可能であると思われる。

(2) 空洞検知測定実験

1) 打音法

本機はタイル剝離診断機として開発されたもので、打撃時に発生する音圧レベルを磁器製タイルの発音に合わせてあるため、測定対象の材質が異なると誤った判定を下す危険性があると考えられたが、測定には影響なく検知する事ができた。残された問題点としては、リブの直交付近での測定が困難であるために更に少型化する必要があると思われる。

2) 音速法

コンクリートは、粗骨材の分布状況、養生方法及び材令などにより超音波パルスの伝播速度は影響を受けると言われている。

今回の実験からは、フレッシュコンクリートの中を伝播したのではなく型枠による影響を受けたために、本当の意味での音速法による空洞検知試験が行えなかった。結果的には、超音波による型枠の振動を健全部と空洞部とで検出したに過ぎなかった。

3) RI法(空洞検知)

RI計器での空洞検知は、リブの無いパネルでは可能である。しかし、測定時間がかかること、装置が大きいことによって、リブの有るものや型枠縁部での測定には無理があり改善の必要がある。

6.7.2 間接的施工管理

コンクリートの間接的な施工管理手法として、コンクリートの縮固めをコンクリート振動機の使用手法から管理することを目的として、2カ年にわたり室内実験を行ってきた。実験は、分析すべき因子が多く満足すべき結果を得るためには、多くの実験回数を重ねる必要があるが、各種の制約から反復実験が実施できなかった。

したがって、実験の誤差を含めると、今回の実験のみで結論をまとめることに多くの問題があるものと考えられるが、これまで得られた結果をまとめると、次のことがあげられる。

(1) 一般(スランプ5~8 cm, 最大骨材径20~40mm)の土木構造物用コンクリート縮固め時間は10~

15秒において、圧縮強度、単位容積密度ともに高い傾向を示している。

(2) 過大な締固めによって、骨材が分離し、コンクリート性状にも悪影響を与えるので、過振動は避ける必要がある。

(3) コンクリート振動機は、高振動型の締固め効果大きい。

(4) 振動棒径は、構造物の大きさによって使い分ける必要があり、構造物厚1 m以上では、40φ程度が必要である。

(5) 振動間隔は、コンクリートの種類、構造物の幅、振動機等によって決まるが、例として、20cm幅の構造物のコンクリートを締固める時に公称棒径30mmの振動機を使用する場合は、振動間隔は30cm（≒10D）でよいが、30cm幅の構造物を締固める時に公称棒径40mmの振動機を使用する場合は、振動間隔は10Dより狭くする必要がある。

6.8 施工管理手法としての提案

6.8.1 施工管理用機器としての提案

フレッシュコンクリートの品質確認の補助的手段として、密度、水分及び空洞測定機器は、次の条件で使用可能であると言える。

(1) 密度測定

R I計のシンチレーションカウンターを使用すれば線源棒範囲においては、 $\sigma = 0.02 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 程度の精度で測定可能であるが、コンクリートの品質管理精度としては十分ではない。

(2) 水分測定

R I計で線源棒範囲においては、 $\sigma = 0.007 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 程度の精度で測定可能で、水分率の簡易計器として他の計測方法とのクロスチェックをする必要がある。

(3) 型枠周辺部の空洞測定機

型枠周辺部の空洞検知機器としては、打音法を使用すれば、狭隘部以外では測定可能であるが、弁別域の確認が必要である。

6.8.2 定量的な施工方法の提案

コンクリート締固めにあたってのコンクリート振動機の使用方法は、次のとおりとする。

なお、適用範囲は、コンクリートスランプ5～8 cm、最大骨材径20～40mmの標準的な土木構造物のコンクリート打設を行う場合とする。

① コンクリート振動機は、高振動型を使用するものとする。

② コンクリート振動機の振動時間は、10～15秒とし、過度の締固めは避けなければならない、締固めの目安は、ブリージングがうすく浮く程度とする。

③ 振動の有効範囲は棒径の10倍程度なので、これが連続するような間隔は挿入する。また、棒径は太いものが望ましい。

④ 振動機は、コンクリートに垂直に挿入し、抜く時は穴を残さないよう徐々に抜き、ボイドの排除に努める。

6.9 今後の課題

フレッシュコンクリートの品質を出来るだけ短時間に精度よく測定可能な機器の開発に取り組んだが、密度、水分及び空洞測定としては、ある程度成果を得たものの、的確性、経済性の面で今後、実験等を実施する必要があると思われる。空洞測定機器についても、測定部を小型化することで、施工管理用機器として使用できるものと思われる。

また、フレッシュコンクリートの締固め度の間接的な管理手法について3年間にわたり取り組んで来た。この結果、一定の推測が行えるところまで来ているが、実験数が少ないため、確定的な結論を導くまでは到らなかった。

これらの結果は、いずれも条件の整備された実験室のものであること、施工管理用機器としては未だ十分な性能がでないことなど、今後に残された課題が多い。また、振動機の使用法の定量的な提案については、これを理論的に裏付けるため、コンクリート内部での振動の伝播や型枠の影響等についての実験を行い、振動締固めのメカニズムを明らかにすることが必要であろう。

7. 舗装工における施工管理手法の研究

7.1 研究の目的

アスファルト舗装工における施工技術の目指すところは、良質で安定した材料による平坦で十分な締固め度の舗装を完成させることであり、そのためには従来より必要な項目について管理基準が定められ、施工の管理がなされてきた。その結果、現在では品質出来形管理基準を十分に満足できる舗装を完成させるための技術的な問題点はほぼ解決されていると言えるが、施工面では機械化、自動化による合理化が進んでいる反面、施工管理についてはほとんど合理化されていないのが現状である。

そこで、本研究では機械化施工、自動化施工に適した合理的な施工管理手法を確立するため、実態をふまえ、合理化への問題点を解消するために必要な新しい測定器及び管理手法の調査、開発を行い、新しい施工管理方法を提案しようとするものである。

7.1.2 研究の内容

アスファルト舗装工における施工管理項目は、骨材や瀝青材料等の品質に関する材料管理、それら材料の配合及び加熱混合等の合材の品質に関するプラント管理、さらに施工の結果でき上がった舗装版に関する現場（製品）管理に大別できる。

この中で、現場管理の中心となる舗装の締固め度の管理方法としては、舗装の完了した道路からコアカッタを使ってコアを抜き取り、試験室に持込んでその密度を調査するといった事後の確認的な管理であり、施工へのフィードバックが難しい。また、コアの採取跡の処理によってはポットホールやクラック発生の原因になるなど道路維持管理上の障害になることもある。

そこで、本研究ではコア採取に代わる管理手法の研究に的を絞り、非破壊でリアルタイムな管理手法を開発するとともに、その適切な運用方法を提案しようとするものである。

本研究の主たる項目は、コアに代わる密度管理方法の研究であるが、コアから得られる重要な情報の一つにアスファルト量と骨材の粒度分布がある。これらは、プラントでのアスファルト合材の生産が仕様書どおりにできているかを確認するために重要なものであるが、新しい締固め度の管理方法が実現してコアを採取しなくなるとこれらも他の管理手法が必要になる。このため、コアからのアスファルト抽出試験や粒度分布試験に代わる管理手法の検討を併せて行うこととする。

7.2 研究の概要

アスファルト舗装工の施工管理をその施工過程により分類すると、骨材や瀝青材料等の品質に関する材料管理と、それら材料の配合及び加熱混合等合材の品質に関するプラント管理、現場生成物の品質及び出来形に関する現場管理に大別できる。

これらの施工管理について、現状の分析と問題点の整理を行った。その結果、材料管理やプラント管理は主として試験室やアスファルトプラント内で行われる室内試験による品質管理といった性格のもの

で、アスファルトプラントの自動制御や集中管理が普及し、安定した混合物が生産されるようになってきた現在、試験項目や頻度の見直しが必要であると言える。一方、現状の現場管理はそのほとんどが施工後に行う事後管理であって、施工へのフィードバックが難しく、コア採取による舗装面の破壊やその判定に時間を要している。このため、アスファルト舗装工の現場管理が最も重要かつ必須の課題であると思われる。

そこで、これらの現場管理のうち、施工後のコア採取による破壊を伴う項目に的を絞り、非破壊で施工へのフィードバックが容易な管理手法を提案することを目的として、コアに代わる手法の検討を行うものである。

7.3 試験舗装路における基礎実験

①締固め度、②アスファルト量、③配合粒度の新しい管理手法の有効性について検討するため、現状の管理手法であるコア採取によるデータと、新しい管理手法によるデータを比較検討することを基本的な考え方として、試験舗装路における基礎実験を行った。

7.3.1 実験計画

(1) 締固め度（密度）試験方法の検討

今回の実験では、締固め度（密度）を把握するための新しい管理手法として、散乱型R I密度計（以下R I計という）の有効性が認められるかどうかを確認する。R I計の測定精度に影響を与える要因として、①合材の種類、②舗装路面の凹凸、③測定時間が考えられるので、これらの実験の影響とその対策方法を検討するため、表－7.1に示すような合材の種類別に5種類の試験ブロック（3m×10m×5箇所）を舗設し実験を行った。

測点の数は各ブロック7点としR I計で密度を測定し（以下R I密度という）、その真下のコアを採取し、試験室において従来の試験方法で密度を測定し（以下コア密度という）、両方の密度の比較を行った。なお、R I計での測定時間は各測点ごとに1分、2分、3分とし（測定時間の影響を見るため一部で5分まで測定した。）、舗装路面の凹凸の影響を緩和する方法を検討するため、図－7.1に示すようにアスファルト表面を標準砂で表面処理して測定した。表面処理は標準砂の密度の影響をさけるためにくぼみを充填する必要最小限とし、表面の高い部分には砂が覆わないように平坦に仕上げた。

また、表面処理の効果を確認するために、2分測定においては表面処理を行わず直接測定も実施した。

（以下、表面処理実施は「表面処理測定」、未実施は「直接測定」という）

表－7.1 試験舗装路の条件

ブロック	合 材 の 種 類
A	粗粒度アスコン
B	細粒度ギャップアスコン（20F）
C	細粒度ギャップアスコン（13F）
D	密粒度アスコン（20）
E	密粒度アスコン（13）

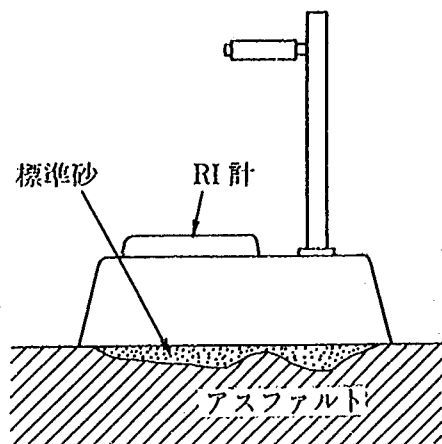


図-7.1 標準砂による表面処理

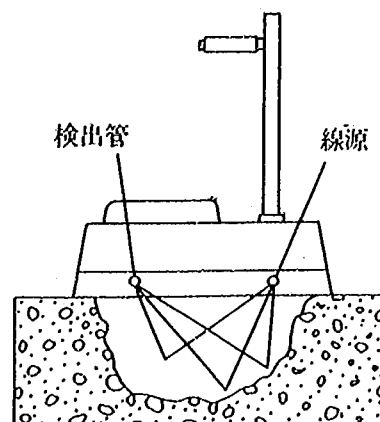


図-7.2 RI計の原理(散乱型)

2) RI計の原理

ガンマ線は、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る。そしてその割合は途中で出会う電子の数に比例する。この原理を応用したのがこのRI計である。電気的に中性である物質の原子には、電子と同じ数の陽子が含まれており、また多くの物質は陽子と中性子がほぼ一定の関係にあることから、物質の密度は電子の密度に比例しているとみなせるのである。

今回使用の測定器は、米国製のRI計で、測定は散乱型(表面設置)として使用するが、線棒の位置を変えることにより挿入型としても使用できる。図-7.2は散乱型として使用する場合の原理を示したもので、表-7.2にその性能及び主要諸元を示す。

なお、アスファルト用のキャリブレーションはしていないので測定した絶対値はコアによる測定値と異なる。

表-7.2 RI計の性能及び主要諸元

● 測定範囲	密度	0.6 ~ 2.65 g/Cm ³	● 使用温度	0 ~ 60℃
	水分	0 ~ 2.00 g/Cm ³	● 被検物温度	0 ~ 200℃
● 測定精度(1分間テスト)			● 測定線源	
	密度 表面設置	0.036 g/Cm ³		ガンマ線源: コバルト, Co-60, 70μCi
	挿入	0.016 g/Cm ³		中性子線源: カリフォルニウム
	水分 表面設置	0.004 g/Cm ³		Cf-252, 30μCi

(2) アスファルト量試験方法の検討

1) 調査方法

今回の実験に使用された5種類の合材(①粗粒度アスコン, ②細粒度ギャップアスコン(20F), ③細粒度ギャップアスコン(13F), ④密粒度アスコン(20), ⑤密粒度アスコン(13))が舗装現場に搬入された際に, 従来のコア採取による抽出試験に換えて, 締固め前のホットな状態の合材を, 新しい管理手法として考えられるアスファルト含有量測定器で測定する。

そして, これらのデータを, 従来のコアによる抽出試験結果及びアスファルトプラントの自記記録によるアスファルト量のデータと比較することにより, アスファルト含有量測定器及び自記記録の精度と有効性を検討した。

2) アスファルト含有量測定器の原理

アスファルト混合物内の水分の大半はアスファルトに含まれていることから, アスファルト混合物内の水分量を検出することにより, 混合物内のアスファルト量を測定することができる。

水分量の測定原理は, 線源から放射された速中性子が物質を構成する水素原子と衝突を繰り返し検出可能な熱中性子のレベルまでに減速されることを利用するもので, 熱中性子の検出量はアスファルト混合物内の水分(H_2O)量に比例する。

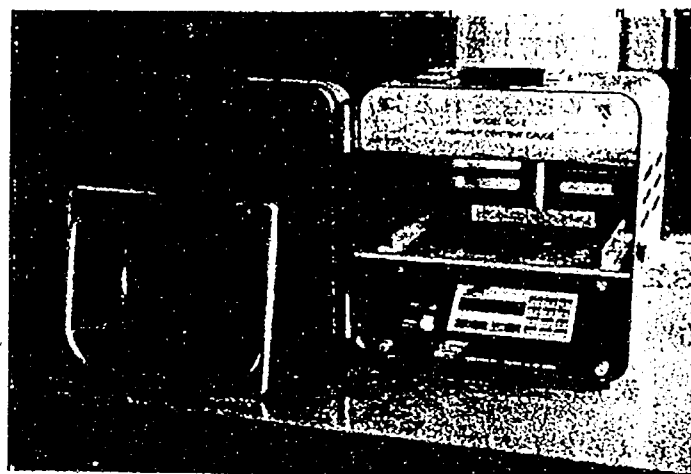


写真-7.1 アスファルト含有量測定器

今回使用した測定器は, 現場に搬入され締固め前のホットな状態のアスファルト混合物を一定量(8 kg程度)取り出し, 測定器に入れることにより, そのアスファルト量を検出するもので, あらかじめ被測定物と同一合材を用いて, 被測定物の上下1%程度のアスファルト量の混合物(校正曲線作成用)を作り, これを用いて測定器内に校正曲線を作成しておく必要がある。

被測定物はこの校正曲線により, そのアスファルト量が求められる。

なお, 写真-7.1にその概観を, 表-7.3に測定器の性能及び主要諸元を示す。

表-7.3 アスファルト含有量測定器の性能及び主要諸元

● 測定範囲	0 ~ 14 %	● 使用温度	0 ~ 60℃
● 測定時間と測定精度 (6%アスファルト時)		● 被検物温度	0 ~ 170℃
4分	0.070%AC 乾燥重量基準	● 測定線源	
8分	0.050%AC 乾燥重量基準		中性子線源: カリフォルニウム
16分	0.035%AC 乾燥重量基準		Cf-252, 30μCi

(3) 配合粒度試験方法の検討

1) 調査方法

本実験で舗設される合材を搬出するプラントにおける、骨材計量器の自記記録結果と従来の採取コアによる配合分析結果を設計配合計算値と比較し、これらの信頼性を検討した。

2) 骨材計量器の概要

アスファルト混合物のプラントにおける品質管理を行う計器で、各種粒度の骨材の配合される比率を自動的に管理、印字するものでプラントの効率的運用のため近年増加の傾向にある。

7.3.2 実験結果

(1) 締固め（密度）試験方法の検討

表-7.1 に示す5ブロック35測点のデータによるR I密度とコア密度の関係を図-7.3～5に示すが、その結果から以下に示すことが推察できる。

① R I密度はコア密度に比べ全体的に低い値となっており、図-7.3の表面処理測定、2分間の平均値で見ると、粗粒度アスコンで $0.193\text{g}/\text{cm}^3$ 、細粒度ギャップ(20F)で $0.168\text{g}/\text{cm}^3$ 、細粒度ギャップ(13F)で $0.140\text{g}/\text{cm}^3$ 、密粒度アスコン(20)で $0.097\text{g}/\text{cm}^3$ 、密粒度アスコン(13)で $0.180\text{g}/\text{cm}^3$ と低い値が出ている。

② 図-7.3と図-7.4からR I密度とコア密度の相関関係を見ると、高い値ではないが相関関係を見ることができる。ここで、後で述べる現地における基礎実験(7.4.2)の結果である図-7.12と図-7.13の結果と比較すると、現地での実験の方が、表面処理測定2分で相関関係が0.769に対し0.933、

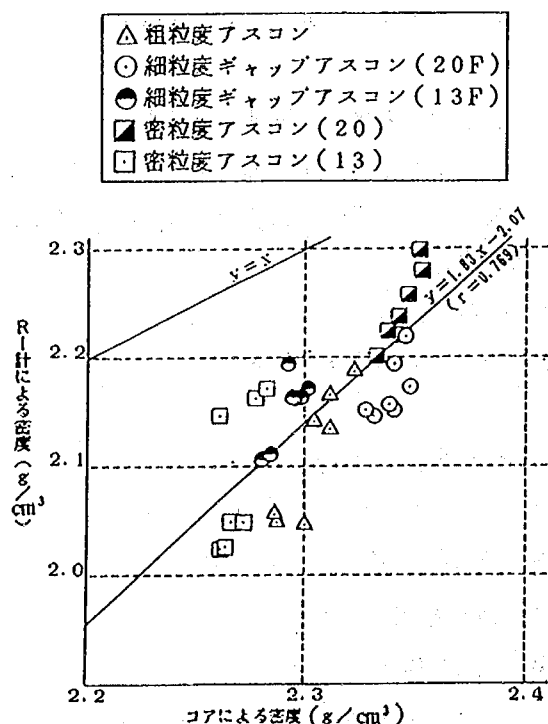


図-7.3 R I密度とコア密度の比較
(表面処理測定、2分間測定)

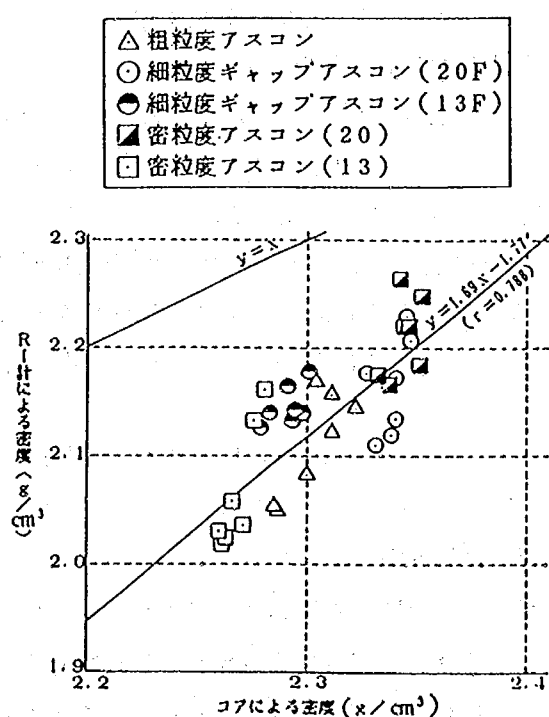


図-7.4 R I密度とコア密度の比較
(表面処理測定、3分間測定)

直接測定2分で0.487に対し0.885とかなり良い相関が得られているが、このことは現地の場合のコア密度の範囲が2.0～2.4 g/cm³程度と比較的幅が広いのに対し、試験舗装路の場合は2.25～2.35 g/cm³程度と幅が狭いことが影響していると思われる。また、合材種類毎の関係については、今回の実験におけるデータが少なく検討するに至らなかった。

③ 測定時間による影響について図-7.3と図-7.4で比較してみると、測定時間を長くする(2分から3分)ことにより相関関係が若干良くなる傾向にあった。また、図-7.6はR I密度が測定時間を長くすることにより、どう変化するかを細粒度ギャップアスコン(20F)で実験したもので、R I密度は測定時間を長くすることにより、測定値のばらつきが小さくなっており、2分程度でR I密度はほぼ安定した値になっている。

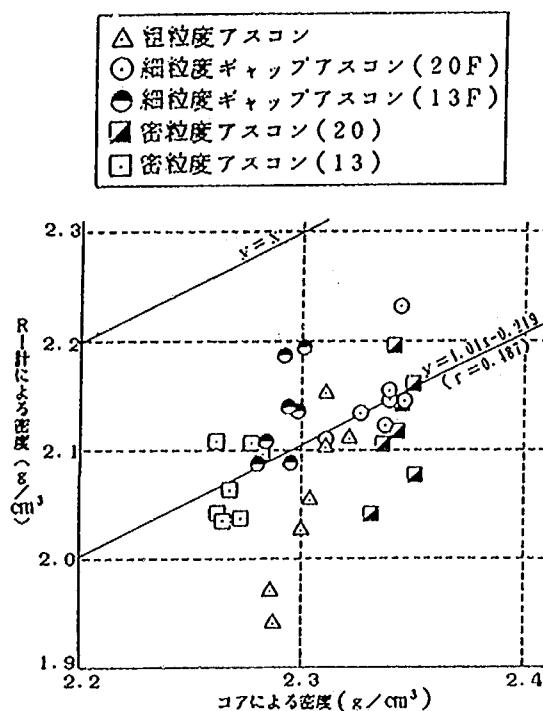


図-7.5 R I密度とコア密度の比較
(直接測定, 2分間)

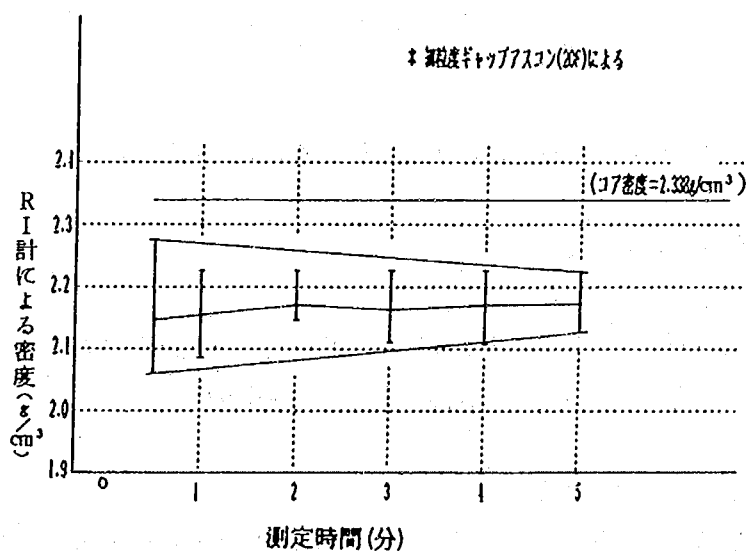


図-7.6 測定時間によるR I密度の変化

④ 路面の表面処理による影響は図-7.3と図-7.5で比較してみると、表面処理後に測定した方が、明らかに相関関係は良くなっている。また、表面処理測定と直接測定の密度差の平均値で見ると、表面処理測定の方が粗粒度アスコンで0.060g/cm³、細粒度ギャップ(20F)で0.022g/cm³、細粒度ギャップ(13F)で0.018g/cm³、密粒度アスコン(20)で0.127g/cm³、密粒度アスコン(13)で0.020g/cm³と大きな値になっており、よりコア密度に近づいているのが確認された。

表面処理の目的から、表面の粗い合材ほど（例えば粗粒アスコンなど）表面処理の効果が大きいと予想されるが、今回のデータからはっきりとせず、さらには密粒度アスコン(20)が他の合材と比較して大きな効果を示しているなど不明な点も多いので、今後実験回数を増やして検討する必要があると思われる。

(2) アスファルト量試験方法の検討

設計値のアスファルト量に対する、各種測定方法毎のアスファルト量について、誤差率としてとりまとめたものを図-7.7に示す。

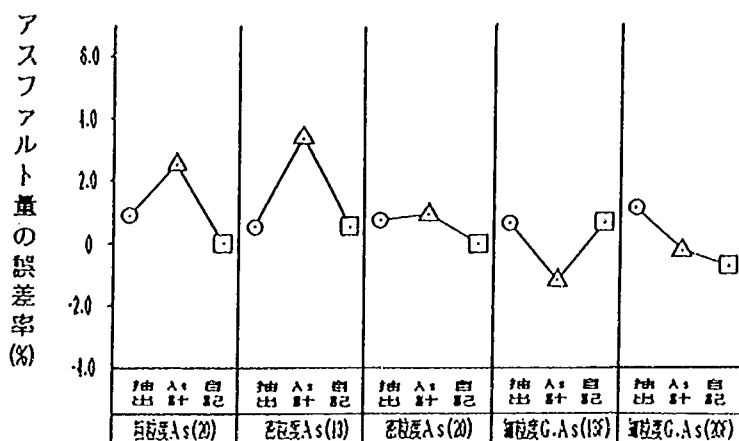


図-7.7 各種測定方法によるアスファルト量の誤差率

なお、ここでの誤差率は次式による。

$$\text{誤差率} = \frac{(\text{設計値のアスファルト量}) - (\text{各種測定方法毎のアスファルト量})}{(\text{設計値のアスファルト量})}$$

この結果から次のことが推察される。

- ① 設計値と自記記録によるデータとでは、誤差率はほぼ1%以内であり、設計値に対して精度の高い結果が得られた。
- ② 設計値と抽出試験値を比べてみると、細粒度ギャップアスコン(20F)以外は近似している。
- ③ アスファルト含有量測定器によるデータは、他の2方法に比べると誤差率が大きく、+3%~-1%程度となっている。

(3) 配合粒度試験方法の検討

アスファルト量の誤差率と同様の考え方で、設計値に対する分析試験及び自記記録の誤差率を図-7.8に示す。

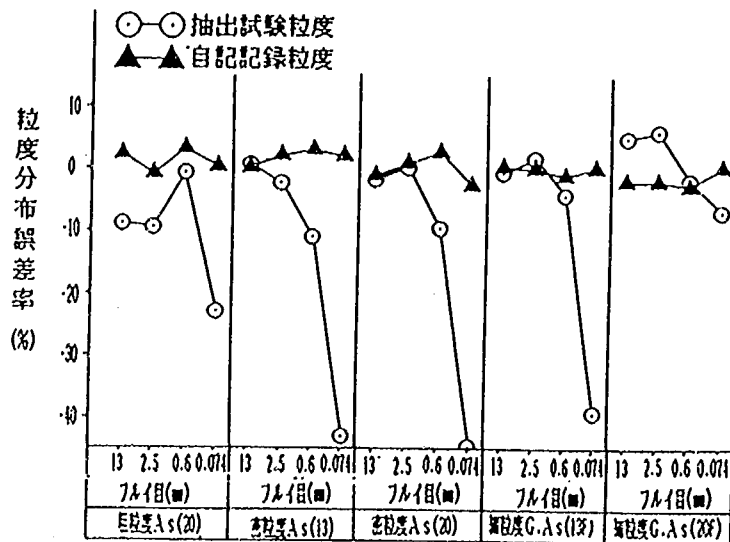


図-7.8 各種測定方法による配合粒度の誤差率

この結果から以下のことが推察される。

- ① 自記録の誤差率は3%以内にあり、設計値に対し精度の高い結果が得られた。
- ② 抽出試験の結果は、フルイ目2.5mm以上の骨材は設計量に比較的近似しているが、2.5mm以下の骨材は設計値と大きく異なっている。
- ③ フルイ目 0.075mmのデータが設計値と大きく異なっているのは、アスファルトの抽出試験の際にアスファルト成分と一緒に濾紙の目を通していている分を回収しきれず、全体にかなり低めにデータが検出されたのではないかと推察される。

7.3.3 考 察

今回の試験舗装における基礎実験では、測定データ数が少なかったこともあり、厳密な結論を得ることはできなかったが、各種管理手法の概略的な特性等は把握することができた。

なお、確認された事項と問題点については以下のとおりである。

(1) 締固め度（密度）試験方法の検討

- ① RI密度とコア密度の間には相関関係が見られ、今後精度を高めるための実験や検討を行い、適切な測定方法を求めていけば、RI計を密度管理に利用する可能性は有ると思われる。
- ② RI密度はコア密度に比べて、全体的に低い値で検出される傾向にあり、今回の測定データでは0.1～0.2 g/cm³程度低い値となったが、これらの値を統計的な考えで処理し、バイアス値としてRI密度に加味すれば、コア密度に近い値が得られるものと思われる。
- ③ 舗装面の粗さが測定精度に影響を与えることが確認されたが、今後は路面の粗さとRI計の精度などを検討し、表面処理手法を確立する必要がある。
- ④ 測定時間は長いほど精度が高くなると思われるが「即時的な管理手法」という点から、適正な

測定時間を求めてゆく必要がある。

(2) アスファルト量試験方法の検討

① 自記記録にらるアスファルト量の管理はプラントの良否にも左右されと思われるが、設計アスファルト量やコアによる抽出試験結果に対し良好な精度が得られたことから、配合粒度と併せて新しい管理手法として利用できる可能性は高いと言える。

② 今回の実験結果より、アスファルト含有量計の精度は十分であると思われるが、今後新しい管理手法として採用する場合は、より一層の精度の信頼性を検討する必要がある。

③ アスファルト含有量計における、校正曲線作成用の混合物の配合は厳密に行うほど測定精度は向上することから、計量値の精度に十分注意する必要がある。

(3) 配合粒度試験方法の検討

① 配合粒度は合材のかくはん状態にも左右されやすく、配合比率の確認は難しい。

② 自記記録による配合粒度の管理はプラントの良否にも左右されるが、今回の実験では良好な精度が得られたことから、今後は新しい管理手法として検討する必要がある。

7.4 現地における基礎実験

7.4.1 実験計画

この実験は、従来のコア採取による測定データと新しい測定機器及び手法を用いたデータの比較を行い、それらの信頼性を調査するとともに、新しい管理手法として採用できる可能性について検討するもので、ここでは、舗設中の現場及び舗設完了後の供用中の道路において調査を実施するものである。

(1) 供用中の道路における調査

現地調査としては、舗設時の調査が望ましいが、多くの資料を採集したいことから、まず、舗設後1年未満の比較的新しい舗装区間において、R I計を用いた締固め度に関する調査を実施することとした。

1) 調査場所

調査場所は管内の一般国道で、施工業者及び使用アスファルトプラントがそれぞれ異なる5つの工事区間を選定し、多様な締固め密度が得られるようそれぞれの工事区間毎に表-7.4に示す10地点で調査することとした。なお、いずれの地点も表層混合物は密粒度アスコンである。

表-7.4 工事区間毎の調査地点選定要領

調査位置	車道 OWP	車道 路肩	歩道 機械舗設部	歩道 人力舗設部	合 計
地 点 数	単路部 3 地点 交差点 2 地点	単路部 1 地点 交差点 1 地点	2 地 点	1 地 点	10 地 点

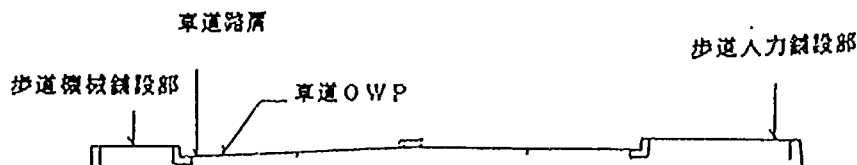


図-7.9 調査地点の設定位置

2) 調査項目は、R I計による密度と採取コアによる密度であるが、R I計の測定データに影響を与える可能性のある項目として、路面粗さ、アスファルト含有量及び配合粒度も合わせて調査することとした。それぞれの調査方法は次のとおりである。

(a) R I計による密度測定

今回の測定は、各測定地点毎に「表面処理測定」及び「直接測定」の2条件で、測定時間1分の場合と2分の場合についてそれぞれ2回、合計8回実施することにした。

また、測定時間の検討のため、補足的に測定時間を30秒とした場合を全体で数回実施する。

なお、使用するR I計は7.3で使用したのと同じものである。

(b) 路面粗さ測定

R I計による密度測定後、同一地点において土研式路面粗さ計（図-7.10）を用いて舗装路面のきめ深さを測定する。

なお、きめ深さとは、図-7.10の(b)のように路面上に敷広げた砂の層厚さ t から同図(c)のキャリブレーション時のガラス板上の層厚さ t_0 を引いた値、すなわちきめ深さ $= t - t_0$ (mm)で表される。

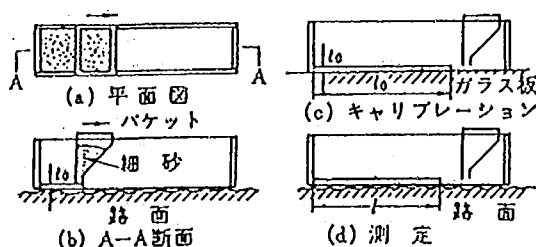


図-7.10 土研式路面粗さ計

(c) 切取りコアによる密度、アスファルト量、粒度分析試験

上記(a), (b)の測定終了後、同一地点で $\phi 150\text{mm}$ のコアを採取し、室内において密度試験、アスファルト抽出試験、粒度分析試験を実施して、密度、アスファルト含有量、配合粒度を調査する。

(2) 舗設中の現場における調査

舗設中の現場において実施する調査項目及び調査方法は次のとおりとし、調査は、管内の昭和63年度工事のなかから数工事を選定して、基層及び表層を対象に実施する。

1) プラントにおけるアスファルト含有量及び配合粒度調査

工事区間を数区分し、それぞれの区分毎にプラント内のアスファルト流量計及び骨材計量器により、アスファルト含有量及び配合粒度を測定記録するとともに、配合後の資料を採取して粒度分析を行う。

2) R I計による密度調査

現地舗設後、それぞれの区分毎にR I計による密度調査を行う。なお、要領等は(1)供用中の道路における調査と同じとする。

3)路面粗さ調査, コア採取による密度及びアスファルト重量並びに配合粒度調査
調査方法は, 上記と同様とする。

7.4.2 調査結果

舗設中の道路における本調査は昭和63年度後半において実施するため, ここでは供用中の道路で実施したR I 計による基礎試験の結果について報告する。

(1) 測定条件とR I 密度の関係

1) 測定時間

測定時間による測定値間のバラツキを調べるために, それぞれの地点における2分測定の平均密度を100(%)とした時の個々の測定値について最大, 最小, 平均, 標準偏差を求めた。表-7.5及び図-7.11は, その5区間全体の平均結果である。この結果より, 測定時間と密度の測定精度は次のような関係にあると判断できる。

表-7.5 測定時間と繰り返し精度の関係(5区間平均)

地区名	統計値	直接測定		目潰し後測定	
		1分測定	2分測定	1分測定	2分測定
5区間 平均	n	50	50	50	50
	max (%)	104.6	101.5	103.5	101.8
	min (%)	96.5	98.4	95.9	98.2
	$\bar{x}$ (%)	99.8	100.0	99.8	100.0
	σ	1.51	0.76	1.65	0.66
	c v	1.5	0.8	1.7	0.7

① 測定時間を長くすることにより測定値のバラツキは減少する。変動係数について比較すると, 1分測定…1.5%に対して, 2分測定…0.8%であった。

② 測定時間が短い場合は測定値が低くでる傾向にあり, 30秒測定の場合は2分測定の98%程度であった。

③ 上記の傾向は, 標準砂による表面処理の有無にかかわらず, 同様であった。

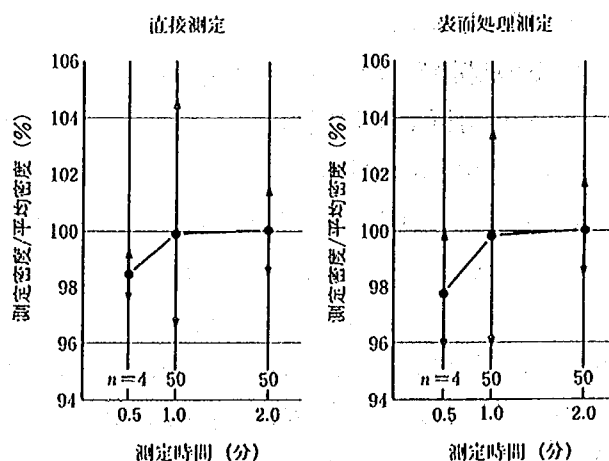


図-7.11 測定時間と繰り返し精度の関係

2) 標準砂による表面処理

標準砂による表面処理の有無の条件下でのR I密度とコア密度とを対比した結果を図-7.12～図-7.15に示す。図-7.14, 図-7.15は調査箇所全平均きめ深さ0.6mmを指標に層別化した結果である。

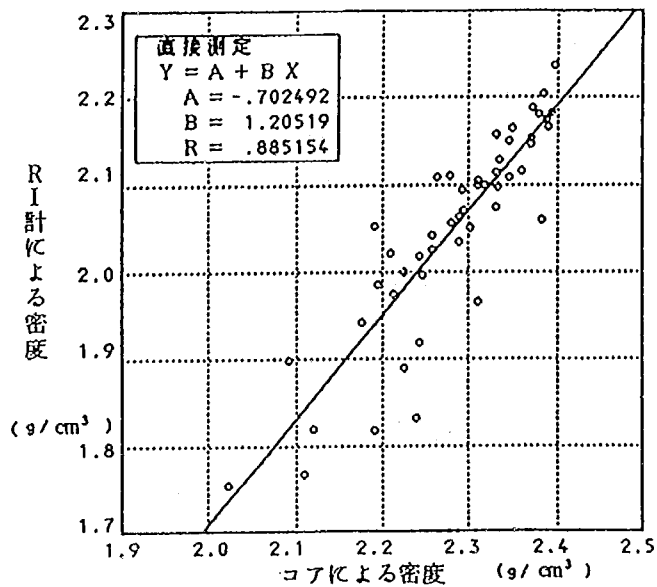


図-7.12 R I密度とコア密度の関係(1)

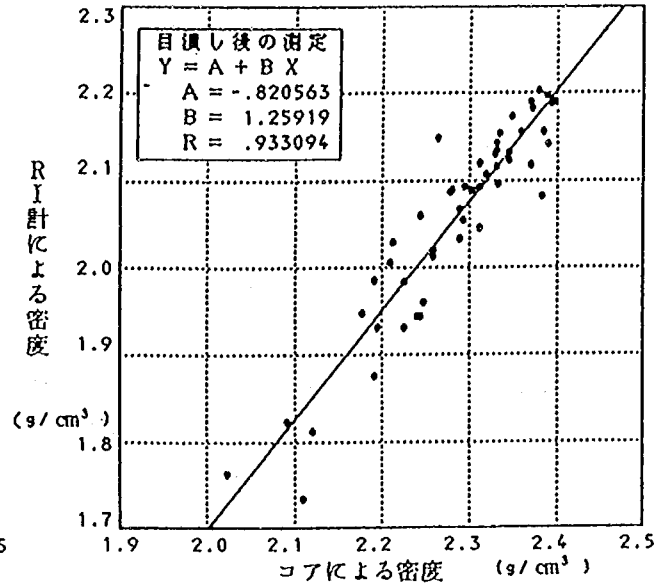


図-7.13 R I密度とコア密度の関係(2)

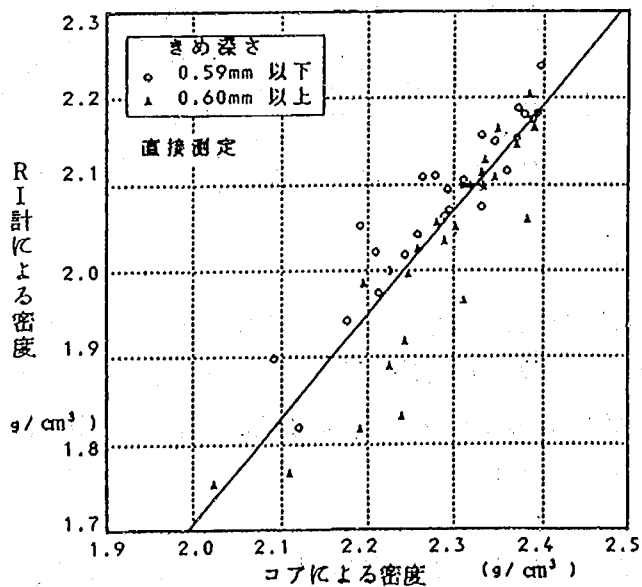


図-7.12 R I密度とコア密度の関係(1)

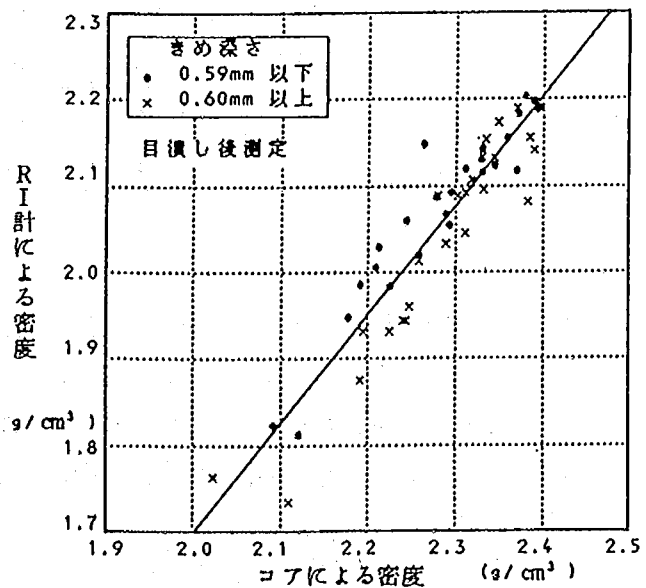


図-7.13 R I密度とコア密度の関係(2)

これらの図より明らかとなった点は以下のとおりである。

① R I 密度は、コア密度と比べて $0.2 \sim 0.3 \text{ g/cm}^3$ 程度低い結果となり、密度の低い領域にいくほどその差は大きくなった。

② R I 密度とコア密度とは $1:1$ で対比できないが、両者の間には図-7.12、図-7.13のように良い相関関係が認められた。

③ 直接測定と表面処理測定を比較すると、回帰直線そのものはほぼ同一であるが、相関係数については表面処理測定の方がやや高い結果となり、精度は良いと判断できる。

④ 図-7.12の直接測定ではきめ深さの大きい箇所の密度が低く、回帰直線からの偏差が大きい結果となったが、表面処理測定では図-7.15に示すようにバラツキが減少しており、値（5区間平均）を表-7.6に示す。この標準砂による表面処理は有効であると考えられる。

なお、きめ深さ 0.6 mm 以下のグループでは表面処理による差は見られず、ほぼ同等であった。

(2) 混合物性状と R I 密度の関係

切取りコアのアスファルト抽出試験及び粒度分析試験により得られた特性値（5区間平均）を表7.6に示す。この特性値をもとに混合物性状が R I 密度に与える影響を調査した。

表7.6 切取りコアの分析試験結果

地区名	統計値	車 道 部			歩 道 部		
		抽出 As量	2.5 mm フルイ 通過量	0.074 mm フルイ 通過量	抽出 As量	2.5 mm フルイ 通過量	0.074 mm フルイ 通過量
5 区 間	n	50	50	50	50	50	50
	max (%)	5.94	50.9	8.0	6.22	49.5	8.0
	min (%)	5.54	35.5	5.5	5.86	41.1	5.3
平 均	$\bar{x}$ (%)	5.74	43.6	7.1	6.10	46.9	6.8
	σ	0.115	3.37	0.65	0.094	3.15	0.69

1) アスファルト量

車道部に用いられているアスコンと歩道部に用いられているアスコンは、それぞれ設計アスファルト量が異なるため、車道部と歩道部に区別して R I 密度とコア密度の関係を求めた。その結果、図-7.16に示すように車道部と歩道部の二つのグループに密度の差はあるものの、回帰直線上に同様な分布をしており、アスファルト量の大小は測定値に影響しないと考えられる。

2) 骨材粒度

今回、調査の対象となった混合物は全て密粒度アスコンであり、骨材粒度に大きな差はなかったが、 2.5 mm フルイ粒度範囲内の中央値をもとに以下のような上側、下側グループに区別した。

上側粒度	n = 38	2.5mm通過量	平均46.9%
下側粒度	n = 12	2.5mm通過量	平均40.7%

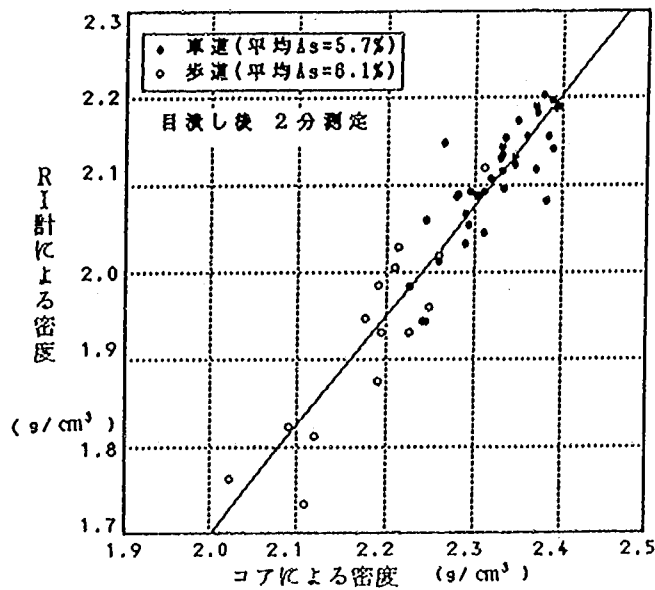


図-7.16 アスファルト量が測定値に与える影響

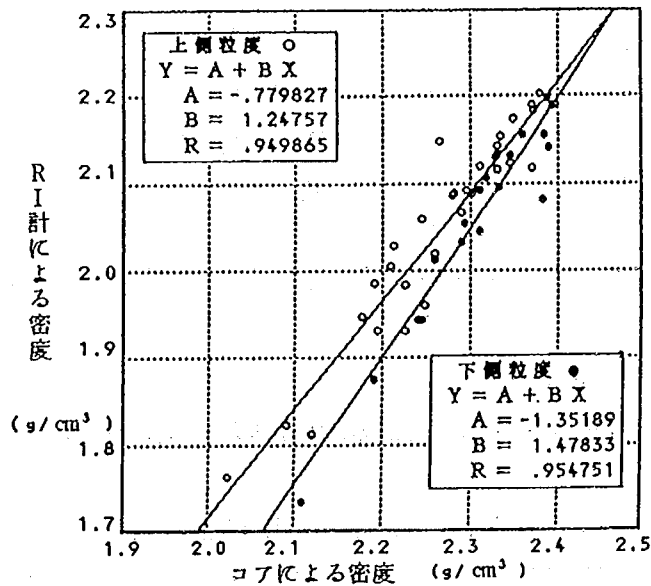


図-7.17 粒度が計測値に与える影響

その結果を図-7.17に示す。図-7.17より骨材粒度の粗い下側グループは全般に密度が低く分布しており、回帰直線についても相関係数は両グループとも0.95と高いが、直線の傾きには差があることから、粒度の粗い混合物は密度が低く求められる傾向にあると判断できる。

7.4.3 考 察

以上の調査結果より判明したRI計の測定精度に関する諸特性並びに望ましい測定条件をまとめると次のとおりとなる。

- ① 測定時間が短い場合はバラツキが大きく、測定値も低くなるため、測定は少なくとも2分以上と

しなければならない。

なお、2分測定の場合変動係数は1%以内であり、実用上問題のない繰り返し精度が期待できる。

② 今回、路面のきめが粗い粗粒度アスコン等については調査しないので明確な判断はできないが、路面のきめが粗くなると密度が低くなる傾向にあり、標準砂による表面処理（目潰し）を行うと、この傾向は改善される。したがって、砂による表面処理を標準的に行うのが望ましい。

③ RI密度は実際のコア密度より0.2~0.3g/cm³低くなる傾向にあるが、両者の相関関係は良く、相関係数は0.93であった。この結果から、回帰式を換算式として内部演算装置に記憶させることができれば密度の近似値が得られ密度管理が可能になると考えられる。

④ 混合物性状のうち、アスファルト量は測定精度に影響を及ぼしていないが、骨材粒度に関しては、粒度が粗くなると密度が低く求められる傾向が見られた。このため、RI計を適応させるには骨材粒度による影響を補正する方法を確立しなければならない。

7.4.4 研究内容

(1) 実施項目

今年度は、試験舗装路及び現地における基礎実験結果に基づき、

- | | |
|--------------|-------------------|
| ① 透過型RI法の適応性 | ④ 配合粒度による影響 |
| ② 骨材の岩質による影響 | ⑤ アスファルト合材用較正式の検討 |
| ③ 添加材による影響 | ⑥ 測定値の再現性の確認 |

(2) 実施要領

試験は、前年度までに使用したものと同型式のRI計を用いて、供試体による室内試験と試験舗装による屋外試験を実施した。

① 供試体による室内試験

2台のRI計を用いて、表-7.7に示す供試体（幅 300mm、長さ 500mm、厚さ 60mm）及び測定条件毎

表-7.7 供試体の種類及び測定条件

RI計	供 試 体 の 種 類					測 定 条 件		RI計設置条件	
	番号	合 材 の 種 類	骨材の岩質	添 加 材	数量	時 間	回 数	散 乱 型	透 過 型
No. 1	1	密粒度アスコン(13)	安山岩	なし	20	2分/回	3回/体	直接及び標準砂による表面処理の2条件	同 左
	2	"	砂 岩	"	10				
	3	"	輝緑岩	"	10				
	4	"	安山岩	ゴム(ウーテックス10%)	5				
	5	"	"	樹脂(NDA-インダ-ERP4%)	5				
	6	粗粒度アスコン	"	なし	10				
No. 2	7	細粒度アスコン(20F)	A産地	"	20	2分/回	10回/体	標準砂による表面処理	直 接
	8	"	B産地	"	5				

に、それぞれ散乱型と透過型R I法による密度測定を行うとともに、切取りコアによる密度を調査した。ただし、R I計による測定はカウント値で行った。

なお、供試体番号7のうちの1枚については、データの再現性を調査するため、計測時間を1分、2分、3分と変化させ、各々連続100回測定した。

② 試験舗装による屋外試験

供試体により得られる値と舗装現場で得られる値が整合するか確認するため屋外で試験舗装を行い、供試体による試験と同様の調査を行った。

なお、使用した合材及び測定条件等は、表-7.7の供試体番号7と同じで舗装版の厚さも60mmである。測定点は図-7.18に示す20点であり、そのうち任意の一点については、計測時間を1分、2分、3分と変化させ、各々連続100回測定した。また、使用したR I計はNo.2である。

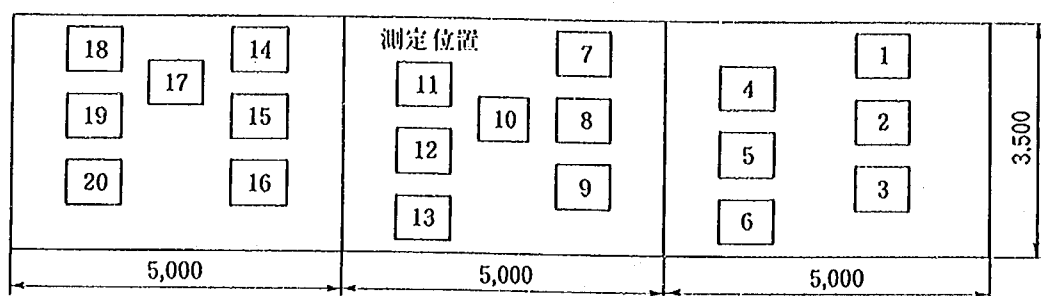


図-7.18 試験舗装路及び測定点の位置

③ 取りまとめ方法

R I計による測定値は、次式により計数率比に換算し、散乱型と透過型に分けてそれぞれコア密度

$$\text{計数率比} = \frac{\text{測定カウント数}}{\text{スタンダード板上のカウント数 (スタンダードカウント)}}$$

との関係について整理し、透過型R I法の適応性、骨材岩質及び添加材並びに配合粒度による影響について検討するとともに、アスファルト合材に適した較正式について検討した。

また、測定値の再現性の調査では、同一測定点の各測定時間毎の100個のデータについて、その集束性を調べた。

(3) 実施結果

測定した全データを整理し、まず、R I計の設置条件による差を見ると、散乱型では前年度までの調査結果と同様に標準砂による表面処理の実施が、透過型では直接設置がコア密度との相関性が良くバラツキも少なかったため、以降の結果は、全て散乱型は表面処理、透過型は直接測定のデータで示す。

① 透過型R I法の適応

No.1及びNo.2 R I計を用いて測定した全データについて、それぞれ、散乱型と透過型を比較したのが図-7.19及び図-7.20である。No.1及びNo.2のR I計は同一型式であっても機械的特性が一定にならない

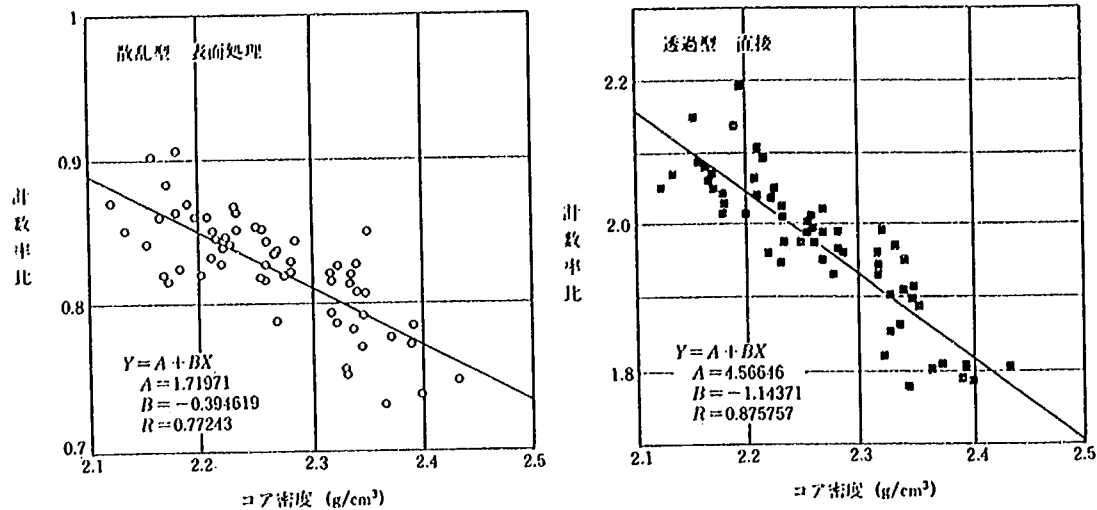


図-7.19 散乱型R I法と透過型R I法のデータ比較 (No. 1 R I計)

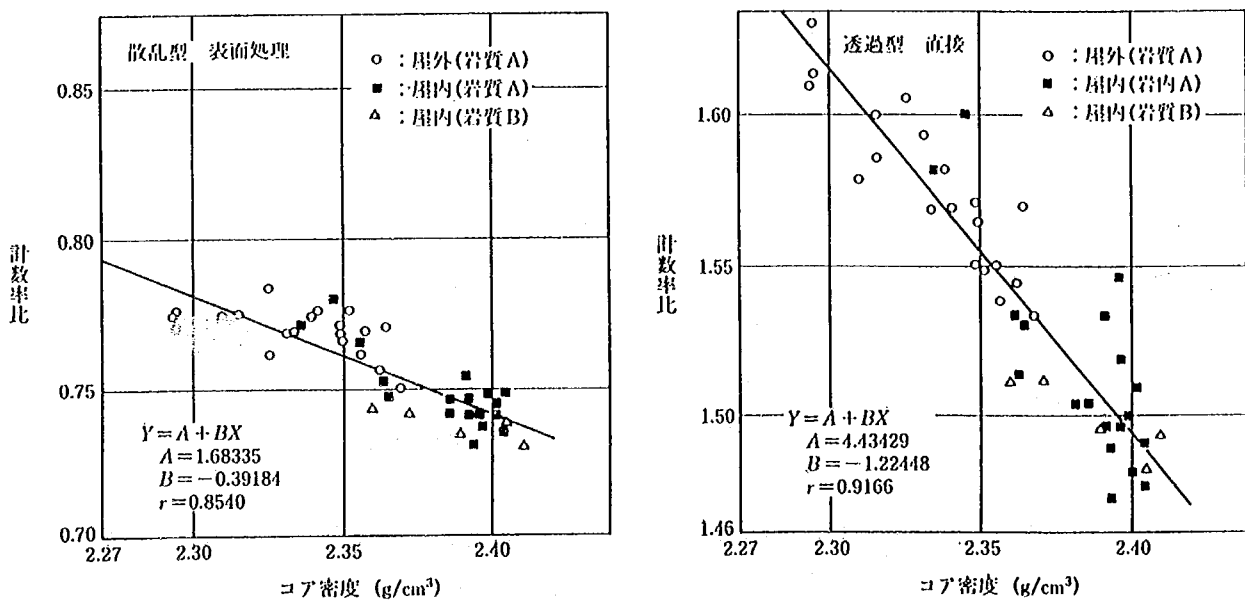


図-7.20 錯乱型R I法と透過型R I法のデータ比較 (No. 2 R I計)

いため、それぞれのデータを分けて整理したものであるが、いずれの場合も散乱型に比べ透過型の方がコア密度との相関性が良く、より精度の高い測定が期待できる。

② 骨材の岩質、添加材、配合粒度による影響

骨材の岩質及び添加材の種類並びに配合粒度の差が、計測値にどの程度影響しているのかを見るため、それぞれコア密度との関係において整理すると図-7.21のとおりとなった。

まず、岩質について、砂岩、安山岩、輝緑岩の3種類の全測定データとコア密度の相関をみると、散

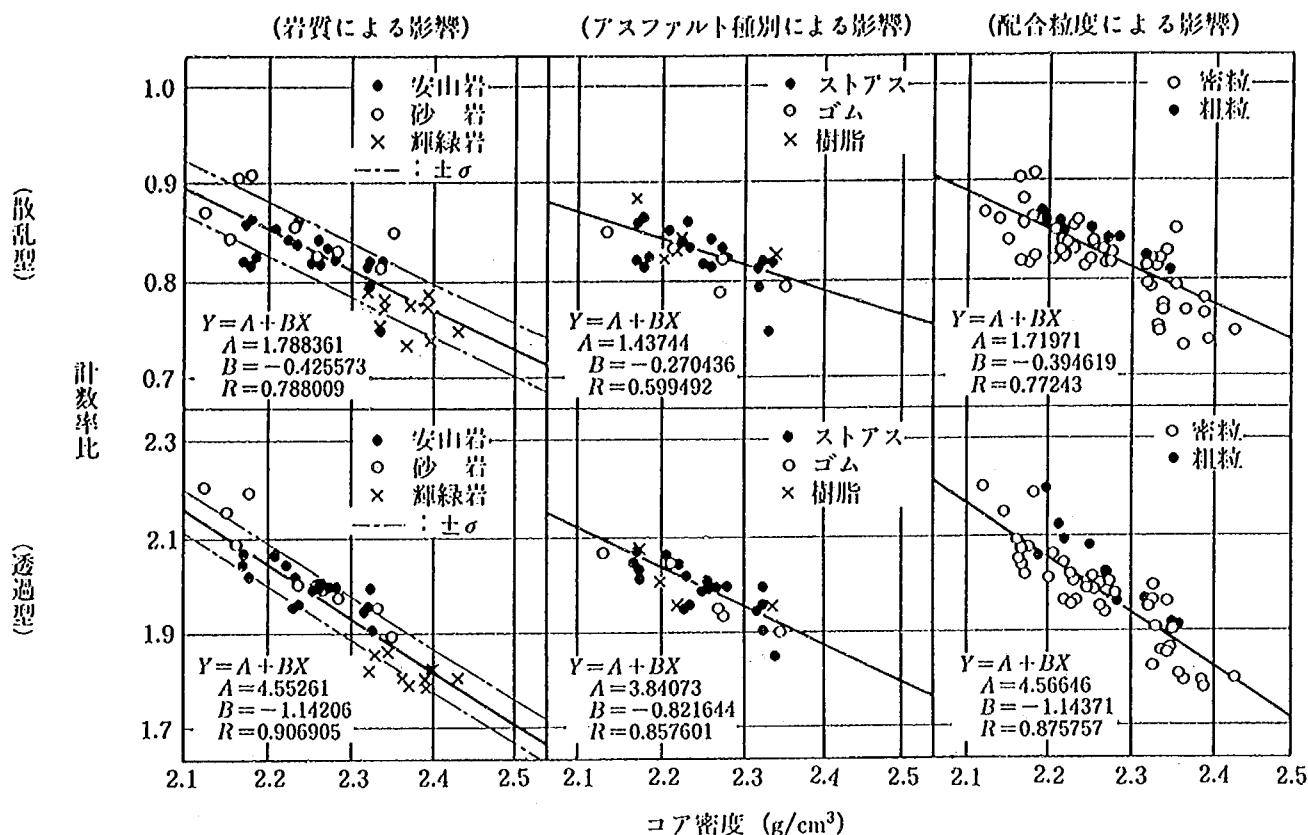


図-7.21 岩質・添加材・配合粒度の差による影響状況 (No.1 R I 計)

乱型、透過型のいずれもかなりよい値を示しており、特に透過型の相関係数は0.9を越えている。しかし、岩質毎に算出すると、散乱型では最も良い砂岩で相関係数は0.645、透過型では同じく砂岩の0.857であり、いずれも3種類の岩質を合わせた値よりも低くなっている。

これは、各岩種のデータ数(10)とそのばらつきの範囲が小さいためである。しかし、いずれの岩種のグループも1本の直線上によくのっていることから、岩種が計数率比に及ぼす影響は小さいといえる。

また、図中の回帰式に測定した計数率比を代入して求めた密度とコア密度との差を求め、その差の標準偏差(σ)を算出すると、散乱型が0.062 g/cm³、透過型が0.037 g/cm³であり、透過型の精度が優れていた。

次に、添加材による影響を岩質の場合と同様に相関係数に着目すると、個々のグループ間の相関係数と全体の相関係数はほぼ同等と判断でき、図中の各グループのデータも回帰直線の周囲に万遍なく分布していることから、添加材の種類による影響はほとんどないものと考えられる。

配合粒度については、岩質及び添加材の影響がほとんど認められなかったことから、No.1 R I 計を用いて測定した密粒度の全データを包括して相関係数を求めると、散乱型が0.773、透過型が0.902であり、粗粒度については散乱型 0.945、透過型 0.940であった。しかし、密粒度と粗粒度を総合すると散乱型 0.772、透過型 0.876といずれも別グループにした場合より相関係数が低下する。また、図中の密粒度

と粗粒度を総合した回帰直線を記入すると、粗粒度のほとんどが直線の上方（回帰式で計算した値よりコア密度が低い）に位置している。このことは、前年度までの散乱型による調査結果と同じであり、透過型を使用しても精度は向上するものの、粒度が異なれば校正式が異なることを意味している。

③ アスファルト合材用校正式の検討

アスファルト舗装の締固め度の管理にR I計を適用するためには、アスファルト舗装用の校正式を作成し精度の向上を図る必要がある。

今までは、R I計による測定データとコア密度との関係を直線回帰線により比較検討してきたが、ここでは次の指数回帰式により検討する。（道路公団が盛土用に使用している）

$$R\rho = A \cdot e^{B \cdot d}$$

ここで $R\rho$: R I計の計数率比

d : 密度 (g/cm^3)

A, B : 校正定数

図-7.22及び図-7.23は、No.2 R I計を用いて粗粒度アスコン（A産地）の供試体より得られたデータを基に、前式に対する校正定数と相関係数を求めたものである。これによると、散乱型の相関係数が0.835程度、透過型が0.731程度で散乱型の方が優位となったが、いずれも図-7.20の屋外試験舗装データを含めた直線回帰式の値を下回った。しかし、これはデータ数が20程度と少なかったためと考えられる。

次にこの推定式を用いて、屋外試験舗装のR I値から密度を推定し、さらに締固め度に換算してコア密度から計算した締固め度との誤差を調べると図-7.24及び図-7.25のとおり、透過型の方が推定式の相関が劣っていたにもかかわらず誤差が少なかった。

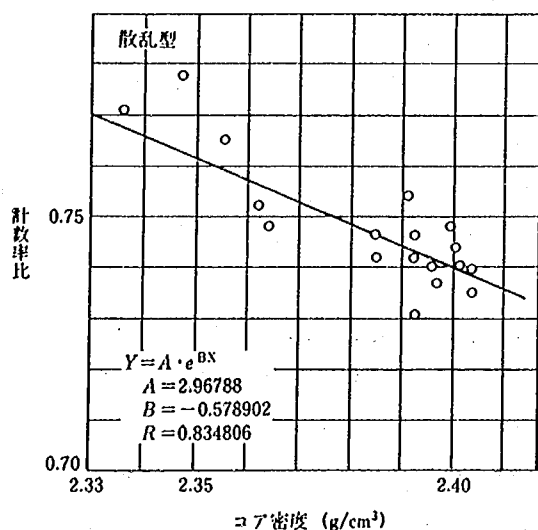


図-7.22 細粒度アスコン（室内A産地）

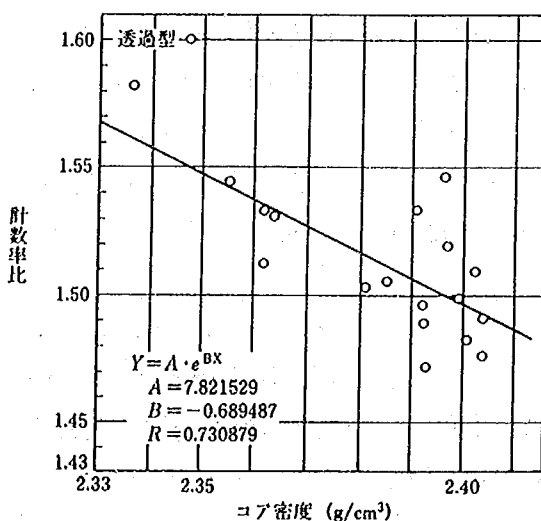


図-7.23 細粒度アスコン（室内A産地）

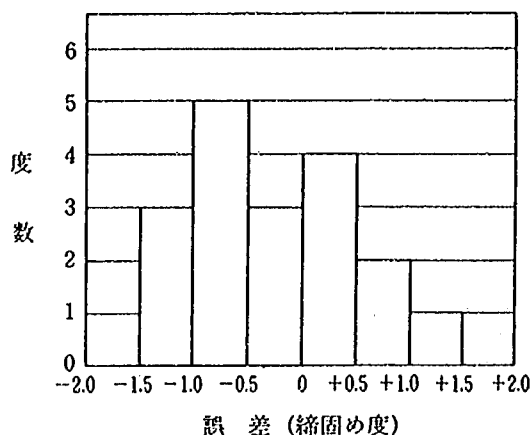


図-7.24 散乱型の誤差

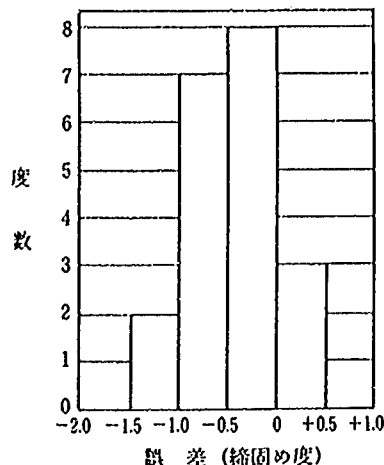


図-7.25 透過型の誤差

今、最終的な誤差の許容範囲を $\pm 1.0\%$ と考えた場合、透過型は90%がその範囲に納まっており十分実用レベルと考えられる。また、散乱型は78%であるが、今後サンプル数を増やせばより正確な較正が期待できる。

また、No.1 R I 計による全データを用いて同様の方法で推定式を求めると、その相関係数は、散乱型が0.771程度、透過型が0.876程度となり図-7.19の直線回帰の場合とほとんど同じになった。これは、道路公団の盛土に使用したデータの範囲が $1.0 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ であるのに対し今回のものは $2.1 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ と約 $1/3$ の範囲であったためと思われる。

したがって、今後広い幅のデータを集めることによって、指数回帰による較正式の方が優位になることは十分考えられる。

④ 測定値の再現性の確認

同一測定点において、測定時間を変えながら繰返し測定した結果を図-7.26及び図-7.27に示す。

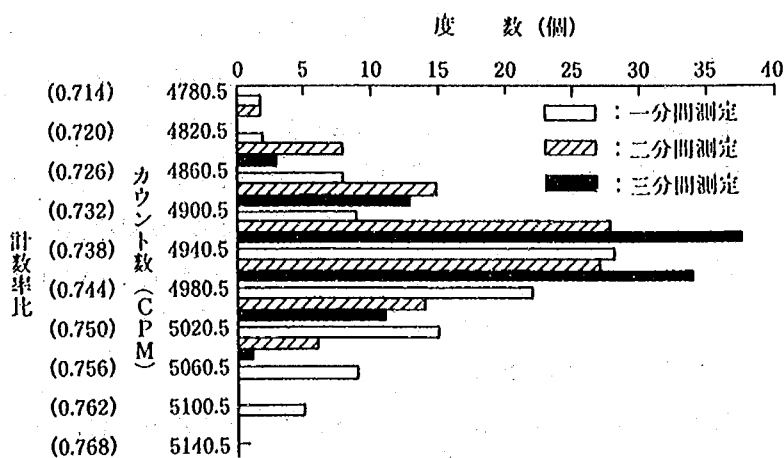


図-7.26 測定値の再現性 (散乱型)

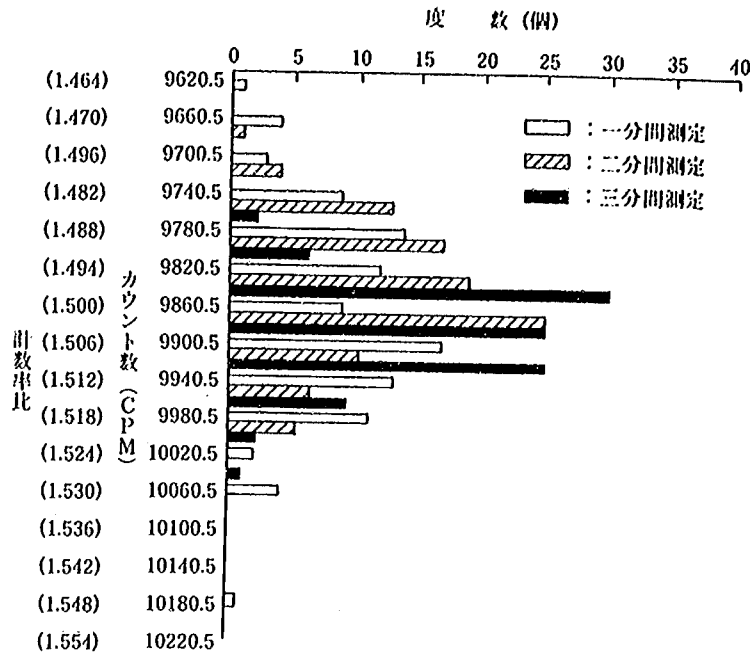


図-7.27 測定値の再現性 (透過型)

この図は各測定時間毎に100回測定したものであるが、散乱型と透過型では散乱型の方がややバラツキが少なく3分間測定では計数率比が0.738~0.750に72%が集中した。

測定時間は長い程精度が高くなるが、実用上は最大3分までと考えられる。

(4) 考 察

今回、散乱型及び透過型R I法を比較しながら試験を行った結果をまとめると次のとおりである。

- ① 透過型R I法は、全般的に散乱型R I法より測定精度が高い。
 - ② 岩質及び添加物の差が測定データに与える影響は小さく、特に透過型ではほぼ誤差の範囲内と考えられる。
 - ③ 骨材粒度の差は、散乱型と同様に透過型の場合においても測定データに影響する。
 - ④ アスファルト骨材用の較正式を作成することによって、十分実用レベルの計測が可能と判断できたが、合材の種類の較正式の適用範囲については、今後検討する必要がある。
 - ⑤ 測定時間は長いほど精度が高くなるが、実用上は最大3分までと考えられる。
- しかし、今回の調査における測定データでは十分とは言えず、特に岩質の差や添加材の差については、データの幅を広くするために実工事等を通じて多くの資料を収集し実証していく必要がある。

7.4.5 R I密度計による現場測定手法の提案

先にも述べたように、R I密度計を用いた施工管理手法を確立するためには、多くの現場実測データを収集して、今までの試験結果の確認と精度向上のための較正手法を確認する必要があるが、現段階では次のことが言える。

- (1) 使用測定器は、原則として透過型とし、対象現場による較正が可能な場合に限り散乱型とする。
- (2) 同型式の測定器でもそれぞれ機械的特性が一定にならないため、個々に較正式が必要である。
- (3) 測定時間は2～3分/回とし、測定回数は3回/測点以上とする。
- (4) 散乱型を使用する場合は、標準砂による表面処理を行ったうえ測定する。

7.5 アスファルト量及び配合粒度に関する研究

7.5.1 前年度までの成果概要

アスファルト舗装工における材料の管理項目として、骨材の配合粒度とアスファルト量があるが、両項目とも舗装の終わった段階で採取したコアを試験室にて、アスファルト抽出試験及びフルイ分け試験を行い、その結果から管理している。

しかし、これら現状の管理手法では試験結果の把握に2～3日を要するため即時的な管理が不可能であり、万一試験結果で不合格が発生した場合には、現場へのフィードバックも不可能となるため、アスファルト混合物が舗装現場へ搬入される際かプラントから搬出される際に、これらの必要な項目について管理できる手法の確立が望まれていた。

本研究ではアスファルト含有量測定器によるアスファルト量の管理と、プラントの自記記録計によるアスファルト量と配合粒度の管理について、その精度と可能性について検討したものである。

(1) アスファルト含有量測定器の概要

カリフォルニウム252から発生する速中性子は水素原子核の陽子に反応して熱中性子に変化する。

また、アスファルト混合物の中で、水素原子はアスファルトに含まれる水分中に、その大部分が含まれている。

アスファルト含有量測定器は、この2つの原理を利用したもので、測定器内のカリフォルニウム 252から発生する速中性子を測定対象物となるアスファルト混合物に反応させた結果から、その水分量を測定し、アスファルト混合物中の水分量の大部分を占めるアスファルト量を検出するものである。

使用方法としては、測定対象とするアスファルト混合物のアスファルト含有量の、前後1%程度（測定対象が6%であれば5%と7%）の混合物を作製して、これにより較正曲線を作成する必要がある。

なお、写真-7.2にアスファルト含有量測定器の概観を示す。

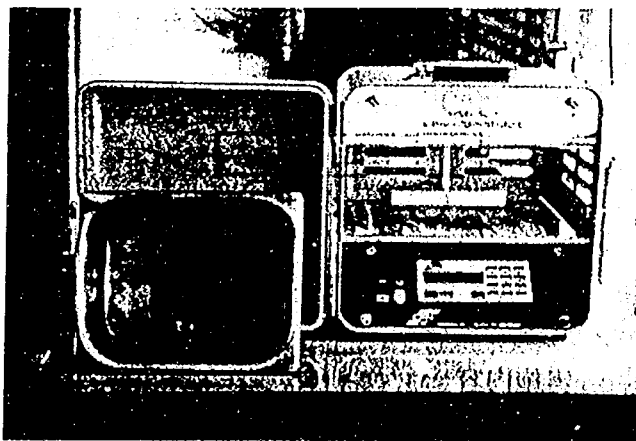


写真-7.2 アスファルト含有量測定器

(2) 自記記録計の概要

図-7.28にバッチ式アスファルトプラントの基本構成を示す。

ホッパー内に粒度ごとに分類されている骨材は、配合設計値により操作盤から入力された数値を保つようにベルトコンベヤ上に排出される。

これらの骨材はドライヤにて加熱された後、ホットエレベータによりプラント上部へ送られ、振動スクリーンを経て、粒度毎にホットビン内にフルイ分けられる。一定時間後に、各ホットビンから計量器上に落とされた骨材の重量を計量したものを印字（自記記録）し、その結果から配合粒度を管理する。

これらの骨材がミキサー内にて攪拌されている所へアスファルトは計量器（アスファルト流量計）にて計量された量だけ加えられる。このとき加えられたアスファルト量も配合計量値とともに印字（自記記録）される。

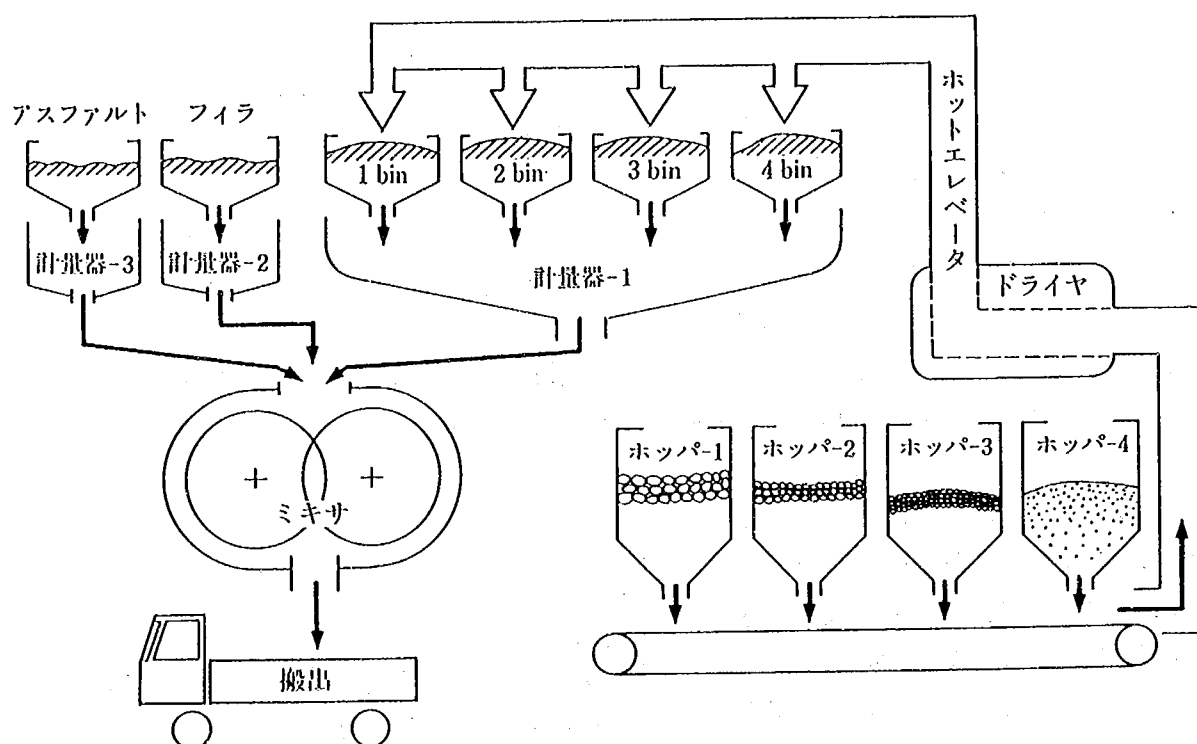


図-7.28 バッチ式アスファルトプラントの基本構成

(3) 実施内容

アスファルト量については、抽出試験値、アスファルト含有量測定器測定値、プラント自記記録値と設計値の誤差を比較するため、プラントから搬出された混合物の自記記録値と現場に搬入された合材のアスファルト含有量測定器測定値、完成した舗装路面から採取されたコアの抽出試験値について調査した。

配合粒度については、自記記録値と採取コアのフルイ分け試験値について設計値との誤差率（誤差率＝各種測定値／設計値）を比較した。

(4) 実施結果

調査の結果を要約すると以下のとおりであった。

アスファルト量について

① 設計値と自記記録値によるデータを比較すると、設計値に対する誤差率はほぼ1%以内に納まっており、設計値に対して高い精度であることが確認された。

② 抽出試験値の誤差率は全体的に1%程度多めに検出される傾向にあった。

③ アスファルト含有量測定器による誤差率は、+3～-1%の範囲で、3方法の中で最も大きかった。このため、利用法としては現場に搬入される合材のアスファルト量を簡易的に測定するのに用いる程度にするのが望ましいと思われる。

配合粒度について

① 自記記録値については全体的に高めに計測されているものの、誤差率は1.00～1.03%以内に納まっている。

② 抽出試験値は誤差率は-0.95～+1.03と広範囲に広がっており、高い精度とは言えない。

(5) 問題点

アスファルト量、配合粒度とも抽出試験値よりも自記記録値の方が、より設計値に近いことが確認されたが、実際に自記記録値どおりに配合されているかどうかの調査はされておらず、自記記録値の精度自体が確認されていない。また、骨材計量器やアスファルト流量計の精度はプラントによって異なることから、一定の精度を保つための対策を講じる必要がある。

7.5.2 平成元年度の実施内容

(1) 実施項目

今年度は、前年度までの問題点を解決するために次の項目について調査した。

- ① 配合設計値に対する抽出試験値、自記記録値の精度比較調査
- ② 抽出試験値、自記記録値と実配合の比較
- ③ プラントにおける自記記録精度の確認状況に関するアンケート調査

(2) 実施要領

- ① 配合設計値に対する抽出試験値、自記記録値の精度比較調査

アスファルト量と配合粒度について、設計値に対する抽出試験値、自記記録値の精度を確認するために、図-7.29に示すバッチ式アスファルトプラントにおいて、各種粒度の骨材が舗装路面となるまでの一連の流れの中で、ホッパーから排出される量を操作盤にて入力する値（設計値）と、計量器による測定値（自記記録値）、ミキサー内から取り出した骨材のフルイ分け試験により得た値（ミキサー内配合）現場にて舗装路面となったものから採取したコアの抽出試験による値（抽出試験値）を調査し比較した。

なお、調査対象は4プラントで8種類とした。

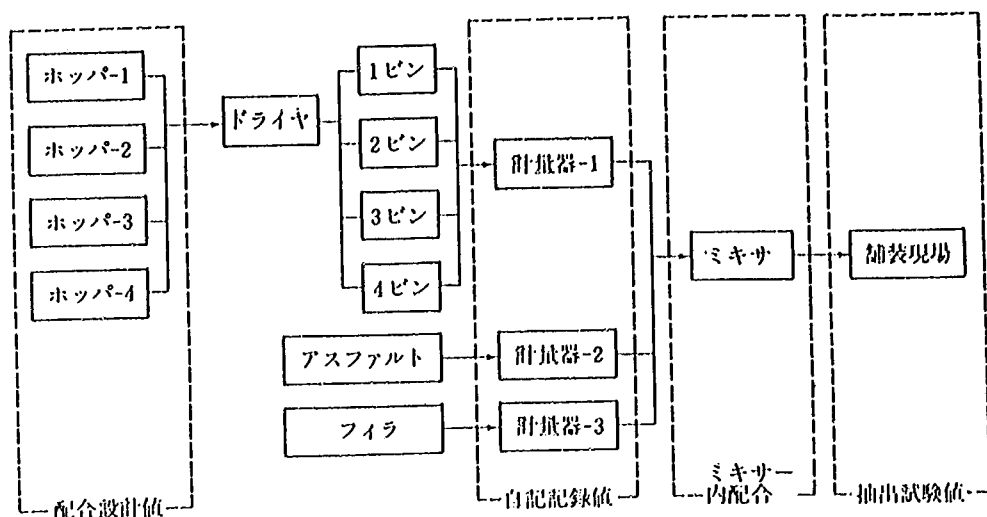


図-7.29 各種測定値の構成

② 抽出試験値、自記記録値と実配合の比較

アスファルトプラントにて自記記録された値のとおり骨材が配合されているかどうかを確認するため、①の調査結果から得たミキサー内配合を実配合と考え、それに対する自記記録値と抽出試験値について比較調査した。

また、別の4ヶ所のプラントについてホットビン毎の自記記録値と、ミキサー内配合について比較調査した。

③ プラントにおける自記記録精度の確認状況に関するアンケート調査

自記記録計による測定値の精度は各々のプラントによって異なるため、各プラントで精度を維持するためにどのような検定を行い管理をしているかを知るためにアンケート調査を実施した。

なお、アンケート調査は北陸地方39ヶ所、四国地方63ヶ所で合計102ヶ所にて実施した。

(3) 実施結果

① 配合設計値に対する抽出試験値、自記記録値の精度比較調査

図-7.30にアスファルト量について、設計配合に対する自記記録値と抽出試験値の誤差を示す。自記記録値についてみると、8プラント中7プラントまでが $\pm 0.1\%$ 以内に納まっており、十分な実用レベルにあるといえる。特に3プラントについては $\pm 0\%$ であり、その正確さが伺える。

次に、図-7.31に配合粒度について設計配合に対する自記記録値と抽出試験値の誤差を示す。

なお、図-7.31は代表的な細粒度ギャップアスコン(20F)について調査した結果である。この結果からみて自記記録値は粒度 $20 \sim 0.074\text{mm}$ 以下までの全体にわたり $\pm 1\%$ 以内の誤差に納まっている。特に粒度 $0.3 \sim 0.15\text{mm}$ 以外のものについては設計配合値との誤差はほとんど見られなかった。

一方抽出試験については、設計値との誤差が $-3 \sim +2\%$ 前後の範囲に広がっており良好な精度であるとは言えなかった。

この傾向は、調査の対象とした8種類の合材について、ほぼ同様であり、自記記録の精度の高さが伺えた。

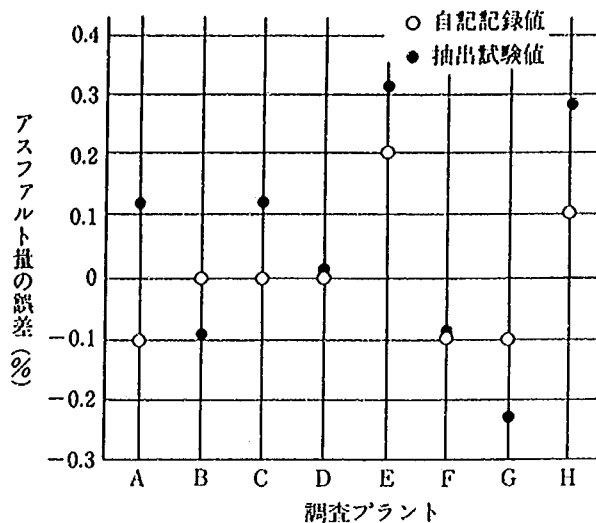


図-7.30 設計アスファルト量に対する誤差

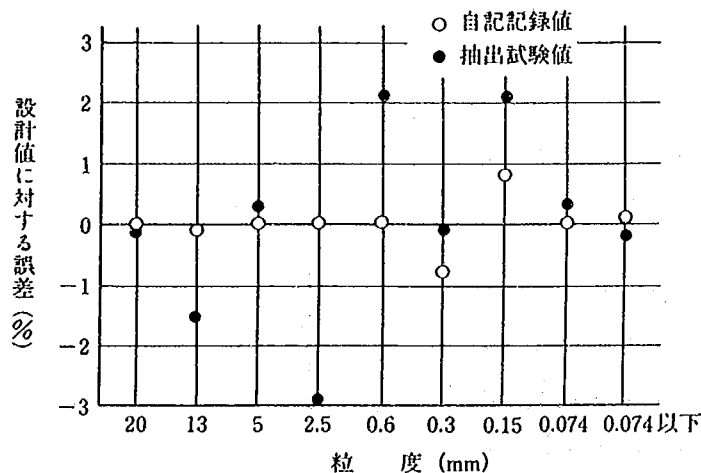


図-7.31 設計配合に対する誤差

② 抽出試験値、自記記録値と実配合の比較

前項の調査結果から自記記録値が設計値に近似した値であることは確認されたが、現場に搬入されている合材が自記記録値のとおり配合されているかどうかによって、自記記録値の信頼性も大きく変わることからミキサー内の骨材の配合を実配合と考え、それに対する自記記録値と抽出試験値について比較した結果を図-7.32に示す。

この結果について、抽出試験値は±1%以内にほぼ納まっているが、これはミキサー内にて攪拌された骨材が舗装路面になったものからコアを採取していることから当然の結果であるといえる。

ただし、抽出試験値は大量の合材により構成されている舗装路面の中の微少のコアから試験を行っているため、偶発的に粒径0.15mmにみられるような異常値の発生する可能性も考えられる。

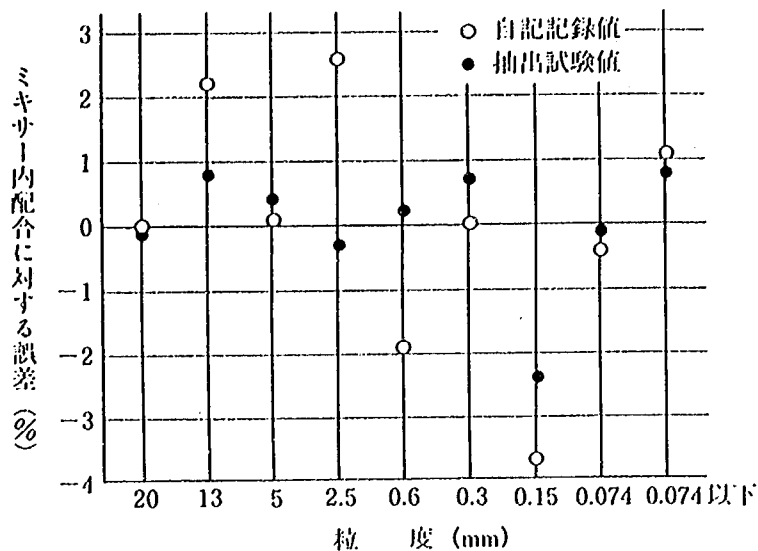


図-7.32 ミキサー内配合に対する誤差 (粒径別)

自記記録値については $-3 \sim +2\%$ 前後の広範囲に誤差がばらついていることから、自記記録値のとおり、正確な配合がされているとは言えないが、管理基準で定められた誤差の範囲が、粒径 2.36mm で $\pm 7\%$ 、 0.075mm で $\pm 3.0\%$ （ともに X_3 値）であることから、実用レベルであると言える。

また、自記記録値は各ホットビンから骨材計量器に落とされた時点でホットビン単位に計量されていることから、ホットビン毎の自記記録値とミキサー内配合について調査した。

図-7.33にその結果を示す。調査対象とした4ヶ所のプラントについて各ビンともほぼ $\pm 1\%$ 以内に納まっておりホットビン単位で考えると、ほぼ自記記録値のとおり骨材配合が行われていることが解った。

これらの調査結果から、アスファルト量、配合粒度ともプラントの骨材計量器等の計器の精度を確保することにより自記記録計による管理が可能であると考えられる。

③ プラントにおける自記記録精度の確認状況に関するアンケート調査

アンケート調査は、北陸地建管内39ヶ所、四国地建管内63ヶ所、合計102ヶ所で行ったが、この中で自記記録のための印字装置を有するプラントは50ヶ所であった。

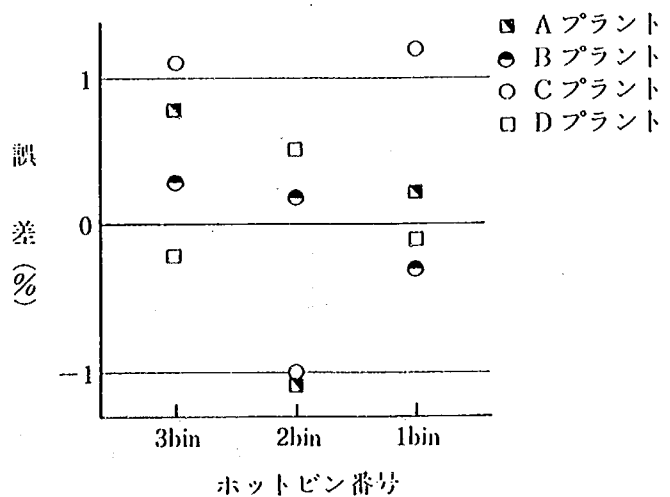


図-7.33 ミキサー内配合に対する誤差 (ホットビン別)

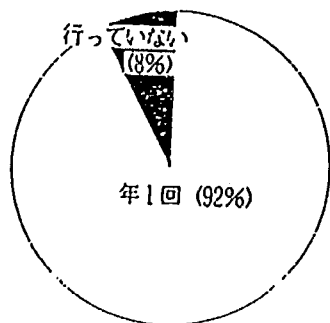


図-7.34 年間の検定回数

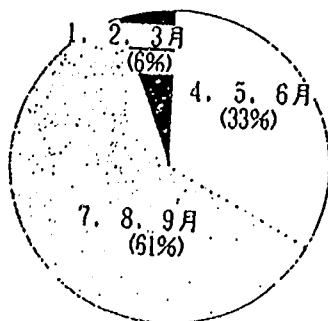


図-7.35 検定の時期

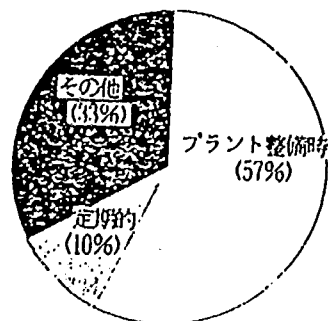


図-7.36 検定時期の決定理由

年間の検定回数を図-7.34に示す。

調査対象としたプラントは自記記録計を有する50ヶ所であるが、この内の90%以上が年1回の検定を行っている。また、検定の項目についてはプラントの規模や検定を行う業者により異なるが、計量値と印字値の整合については全てのプラントで行われている。

次に検定時期について、4月からおおまかに分けて3カ月ごとにまとめた結果を図-7.35に示すが、この結果から、検定の大半(90%以上)は春から秋の無雪期に行われているのがわかる。

これらの検定時期を定める理由について図-7.36に示す。

この結果からプラントの半数以上が整備時と同時に行っているが、これは検定に数日の時間を要することや、連続的に稼働しているプラントを一時的に停止させる必要があることなどから、年1回の整備時に同時に実施しているものである。

また、件数は少ないものの、大規模工事に伴う大量出荷や計量値に異常があった場合に行うものも、その他の件数に含まれている。

全体からみて検定の実施状況は、年1回の定期整備と同時に計量器関係の検定と調整を行っているのが一般的である。

計量器と印字値の整合確認が全プラントで行われていることは先に述べたが、その中で代表的な方法について図-7.37に示す。

この方法は基準となる重量原器を用いるもので、図-7.37で例えると、まず原器を乗せ

被 荷 重	印字値	誤差(%)
0kg	0kg	± 0
100kg	101kg	+1.0
200kg	198kg	-1.0
300kg	301kg	+0.3
...	...	...
300kg	300kg	± 0
200kg	201kg	+0.5
100kg	99kg	-1.0
0kg	0kg	± 0

図-7.37 計量器の検定方法の1例

ない状態で印字させその誤差を読み取る。次に順次100kg, 200kgと原器を加えてゆき印字される数値と原器との誤差を読み取る。

原器の重量が計量器の許容重量に達した後は原器を1つずつ減らし、戻り側の誤差を確認してゆくものである。

ここで、誤差の許容範囲については、原器の重量と印字値の誤差が $\pm 1\%$ 以内というものから、計量器の最小目盛りの ± 1 以内というものまでプラントにより様々である。

また、原器による載荷重量も100kg単位で行うものや、100kgまでは10kg単位で行い、100kg以上は100kg単位で行うものなど様々である。

(4) 考 察

今回のアスファルト量及び配合粒度について調査した結果をとりまとめると次のとおりである。

- ① 自記記録計による測定値は、アスファルト量、配合粒度とも設計値に対して高い精度を示した。
- ② 自記記録計による測定値は、ホットビン単位で考えた場合、ミキサー内の実配合に対し、ほぼ正確であると確認された。
- ③ 抽出試験による試験値の精度については、アスファルト量、配合粒度とも、自記記録計に比べて劣る事が確認された。
- ④ プラントでは骨材計量器等の検定を年1回程度・プラントの整備にあわせて行っている。

7.5.3 アスファルトプラントにおける管理手法の提案

本年度までの調査結果から、アスファルト量及び配合粒度の管理については、現状の採取コアに代わり、アスファルトプラントの自記記録結果により行える事が確認されたが、今後現実に新しい管理手法として運用してゆくには以下に示す項目について検討を行う必要がある。

(1) 設計配合粒度の校正

アスファルトの配合設計を行う際に、図-7.38に示す様な粒度曲線図が作成される。この粒度曲線上

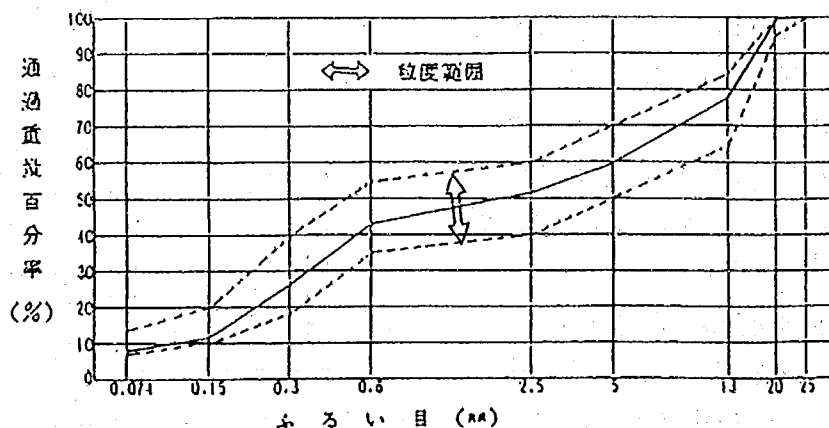


図-7.38 粒 度 曲 線 図

の粒度範囲の中に実配合値が納まっていれば良いことになるが、この曲線はフルイ目 0.074mm~25mm以上まで10段階以上に細かく分類されている。

これに対しプラントのホッパー側では5段階程度にしか分かれていないため、プラント側で配合値を入力する場合には粒度曲線図からホットビン粒度へ換算した値を設計値として入力する必要がある。(本論文では、このホットビン粒度に換算した値を設計値として用いている。)

この換算について正確な計算がなされるとが重要である。

(2) アスファルトプラントの検定内容の整理

自記記録値の精度を確保するために、検定回数、検定期間、検定項目及び検定方法について整理する必要がある。

なお、検定を行う場合に必要になると思われる項目は、以下のとおりである。

1. 検定年月日
2. 検定担当
3. 骨材計量器の誤差(基準原器に対する誤差)
4. アスファルト計量器の誤差(計量値どおりに印字されるか)
5. フィラのアスファルト計量器の誤差(計量値どおりに印字されるか)
6. 印字装置(計量値どおりに印字されるか)

また、検定項目及び検定方法については、統一された指針等を作成することにより全体的な精度の向上が期待できる。

(3) 検定機関の設置

現在の検定は、アスファルトプラントやプラント製作メーカー等により行われているが、今後自記記録値を新しい管理手法として運用する場合には、これらの検定内容について証明、保証、審査を行える公的な機関の設置が必要になるものと思われる。

7.6 ま と め

アスファルト舗装工の施工管理について、現状のコア採取による管理方法から、締固め度についてはRI計、アスファルト量及び配合粒度についてはプラントの自記記録計で管理することにより、非破壊で即時的な施工管理ができるよう可能性について検討を行ってきた。

RI計、自記記録計とも新しい管理手法として採用できる可能性は十分にあることが確認されたが、今後は、前項で行った両管理手法に関する提案に基づいて、在来の手法と並行して実施することによってデータを蓄積することによって現実に運用できるような管理体制を確立するよう検討してゆく必要がある。このため、当初は大規模な工事での同一配合での運用のように、条件を整備して実施していくことが必要であろう。

舗装厚については、今回の対象とはしていなかった。しかし、高い周波数の電磁波等を用いて、1m以内での層の厚さを計測する方法が実用化されつつあり、コアによる確認に代わる方法として検討の必要があると思われる。

8. 軟弱地盤処理工における施工管理手法の研究

8.1 研究の概要

我が国は大規模な軟弱地盤が多く分布し、また国土が狭いことから軟弱地盤地域を利用しなければならないことが多い。そのため、軟弱地盤対策工法のうち石灰あるいはセメントなどの安定材を原位置の軟弱土と混合する、いわゆる混合処理工法に関しても、これまでDLM工法やDJM工法など多くの工法が開発され、いろいろな分野で広く利用されている。

混合処理工法により施工された後の改良地盤の品質の確認手法はまだ確立されている状況ではなく、現在は主として改良地盤から採取したボーリングコアの一軸圧縮強度を基に品質の確認が行われている。しかし、混合処理工法では原位置の土質、地下水等のさまざまな地盤条件や安定材の混合割合などの施工条件によって、改良体の品質に相当のばらつきがあると考えられているにもかかわらず、通常の実施されているボーリングコアによる品質確認は改良体数百本に1本程度と少なく、改良体全体を考え場合、あくまで「点的な把握」であり「全体の評価」とは言い難いと考えられる。「全体の評価」を考えた場合、全数検査あるいはこれに準じる管理方法を用いるべきであるが、現状のコアボーリングでは経済的に実施が難しいとされている。

また、施工管理の視点からすると改良地盤の深度方向に関して連続的な強度分布を迅速に把握すること、および未改良部分の有無を確認することが必要となってくる。そこで、本研究ではコアボーリングによる強度管理を補完する方法として、回転貫入サウンディング手法を提案し、コアボーリングによる改良体の評価と回転貫入サウンディング試験結果との比較を行い、施工管理手法としての適用性を調べるものである。

8.1.1 施工管理上の課題

混合処理工法は機械攪拌により石灰やセメント等を混合・攪拌する方法（以下、機械攪拌工法）とセメントスラリー等を注入あるいは高圧噴射により混合・置換する方法（以下、噴射攪拌工法）に大別される。前者の機械攪拌工法の場合は、攪拌翼を用いるため通常安定処理土はほぼ均一な柱体状に造成されるが、深さ方向では強度の変化が生じる場合がある。一方、後者の噴射攪拌工法（または注入工法）の場合は、安定材を地盤中に圧入・浸透あるいは原位置土と置換させるため深度方向の強度のばらつきに加えて、造成される固結形状が土層性状及び施工条件に大きく依存する。

このため、設計通りの地盤改良が行われたかどうか常問題となるところであり、このための施工管理方法の確立が望まれている。

8.1.2 昭和63年度の研究成果

昭和63年度においては、浅層混合処理工法や深層混合処理工法など、混合処理工法における施工および品質管理の実態に関する調査を行い、その概要をとりまとめた。また、改良地盤の簡易品質確認装置を開発し、いくつかの試験調査よりその有用性を確認するとともに、今後の問題点を列挙した。

8.2 平成元年度の研究内容

本年度は昨年度の研究成果を踏まえて、以下の項目について検討した。

(1) 装置の改良と現地適用性試験

昭和63年度に開発した装置に改良を加えた。また、この装置を用いた回転貫入サウンディング手法の適用性試験として、関東地建および九州地建の2ヶ所においてこの装置による現地試験を行った。また、室内において行った模型試験結果との比較を行った。

(2) 施工管理方法の提案

室内試験および現地試験の結果を基に、回転貫入サウンディングによる施工管理方法を軟弱地盤処理工法に適用する場合の適用方法についてとりまとめを行う。

8.3 回転貫入サウンディングの適用性試験

8.3.1 模型装置による適用性試験

(1) 試験方法

回転貫入サウンディングによって得られる指標と従来から品質管理に用いられている一軸圧縮強度の関係を明らかにするため、セメント安定処理土の供試体を作製し、回転貫入サウンディング試験及び一軸圧縮試験を行い相互の関係の分析を行った。

試験に用いた装置を図-8.1に示す。この装置は空気圧によってロッドを降下させ、モータによってロッドを回転させる構造になっている。測定項目はロッドを回転貫入させる際の貫入推力、回転トルク、貫入速度の3項目で、それぞれ荷重変換器、トルク変換器、変位計によって測定する。セメント安定処理土供試体の種類は、以下の通りである。

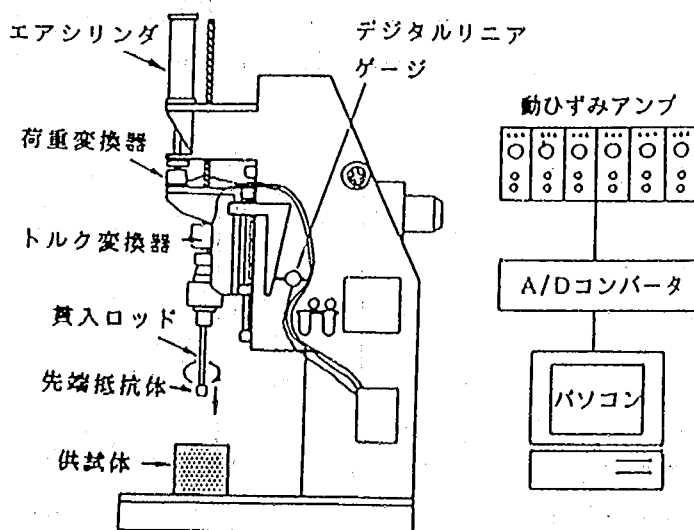


図-8.1 実験装置

表-8.1 供試体の一軸圧縮強さ

配 合	一軸圧縮強さ
砂 + セメント 2%	3 kgf/cm ²
砂 + セメント 5%	12 kgf/cm ²
砂 + セメント 13%	56 kgf/cm ²
粘土 + セメント 4%	2 kgf/cm ²
粘土 + セメント 11%	4 kgf/cm ²
粘土 + セメント 25%	15 kgf/cm ²

① 砂を試料に用いたものは無改良, セメント 2%添加, セメント 5%添加, セメント 13%添加の 4 種類 (%は試料の乾燥重量に対する割合)

② 粘土を試料に用いたものはセメント 4%添加, セメント 11%添加, セメント 25%添加の 3 種類 (%は試料の乾燥重量に対する割合)

供試体は 20 l の円形モールドに混合した安定処理土を投入後締固めて作製した。作製した供試体の一軸圧縮強度 (7 日強度) を表-8.1 に示す。なお, ロッドの回転数は 80rpm, 先端部に取り付けたビットは図-8.2 に示すように実機と同形状の掘削径 40mm のものを使用した。

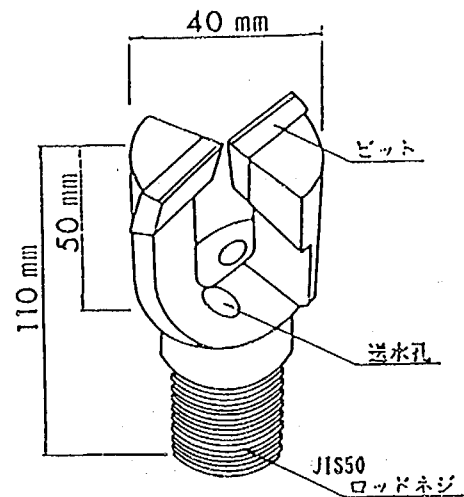


図-8.2 先端ビット形状図

(2) 試験結果

図-8.3 は貫入推力 F (kgf) と一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm²) の関係を示す。これより貫入推力と一軸圧縮強度の間には比例関係がないことが示される。これは, 同一強度の供試体でも, 設定空気圧によって

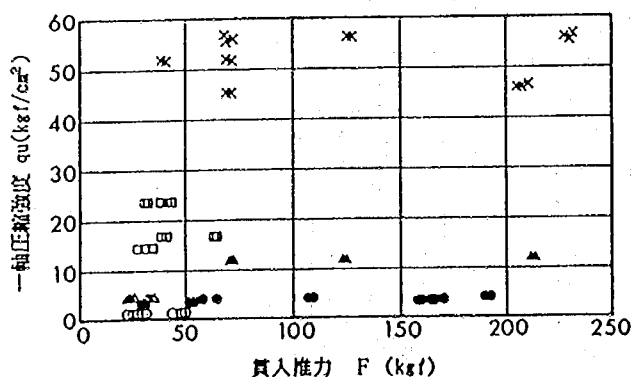


図-8.3 貫入推力と一軸圧縮強度の関係

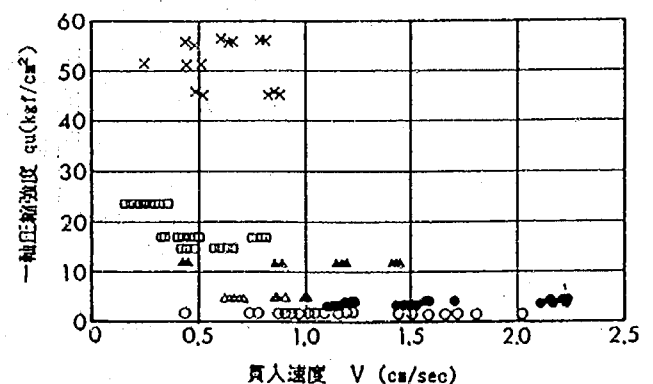


図-8.4 貫入速度と一軸圧縮強度の関係

さまざまな貫入推力を取り得るためである。これから、貫入推力からだけでは一軸圧縮強度を推定できないことがわかる。図-8.4は貫入速度 V (cm/sec)と一軸圧縮強度 q_u の関係を示す。これより、一軸圧縮強度が大きくなると貫入速度が減少していることがわかる。なお、図-8.4では、特に低強度の供試体の分布を見ると空気圧(すなわち推力)の設定が大きく影響してばらつきが大きい。このことから、貫入速度のみで一軸圧縮強度を推定するのは困難であると考えられる。また、図-8.5は回転トルク T (kgf・cm) と一軸圧縮強度の関係を示したものである。この図より、一軸圧縮強度が増加すると回転トルクも増加することがわかる。しかし、同一強度の供試体であっても全体にわたってばらつきが見られる。これは貫入推力の影響によるものである。図-8.6に一軸圧縮強度と比削孔エネルギーの関係を示す。なお、比削孔エネルギーとは、単位掘削量当りの掘削エネルギーであり、下式で示される。

$$E_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot T \cdot N}{\pi \cdot r^2 \cdot v} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

E_s ; 比削孔エネルギー (kgf/cm²)

T ; 回転トルク (kgf・cm)

N ; 回転数 (回/sec)

r ; 回転半径 (cm)

v ; 貫入速度 (cm/sec)

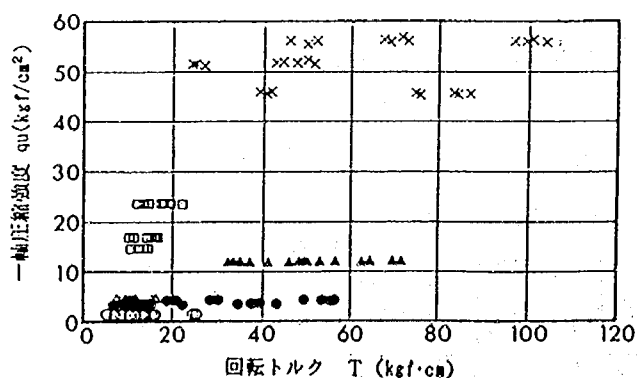


図-8.5 回転トルクと一軸圧縮強度の関係

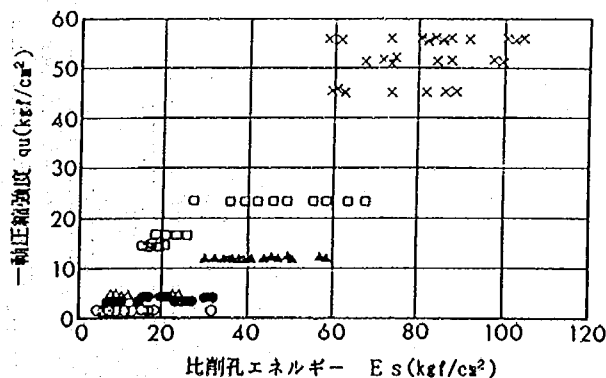


図8.6 比削孔エネルギーと一軸圧縮強度の関係

図より、一軸圧縮強度と比削孔エネルギーの間には、概ね比例関係が認められることがわかる。これより、回転貫入サウンディング試験により測定データから一軸圧縮強度を推定するには比削孔エネルギーが有効ではないかと考えられる。

8.3.2 実機による適用性試験

(1) 試験方法

深層混合処理等による改良地盤における一軸圧縮強度と削孔パラメータ（回転数，貫入速度，貫入推力，回転トルク等）との関係を検証するために，実際の機械を用いて回転貫入サウンディングの適用性試験を行った。なお，試験は速度制御によって行われた。

調査用の供試体は，霞ヶ浦産のヘドロにセメント系固化材および石灰系固化材を所定量添加して直径1 m，高さ2 mの円柱状の改良体を，各々8本作製した。試験に使用した装置（以下，ベースマシンと呼ぶ）を図-8.7に示す。ベースマシンは①回転給進装置，②ボーリングポンプ，③油圧装置，④走行

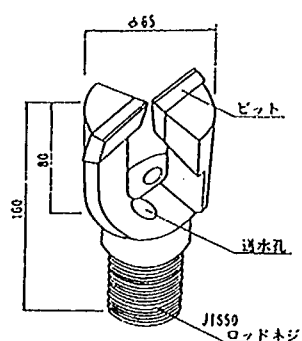


図-8.8 先端ビット

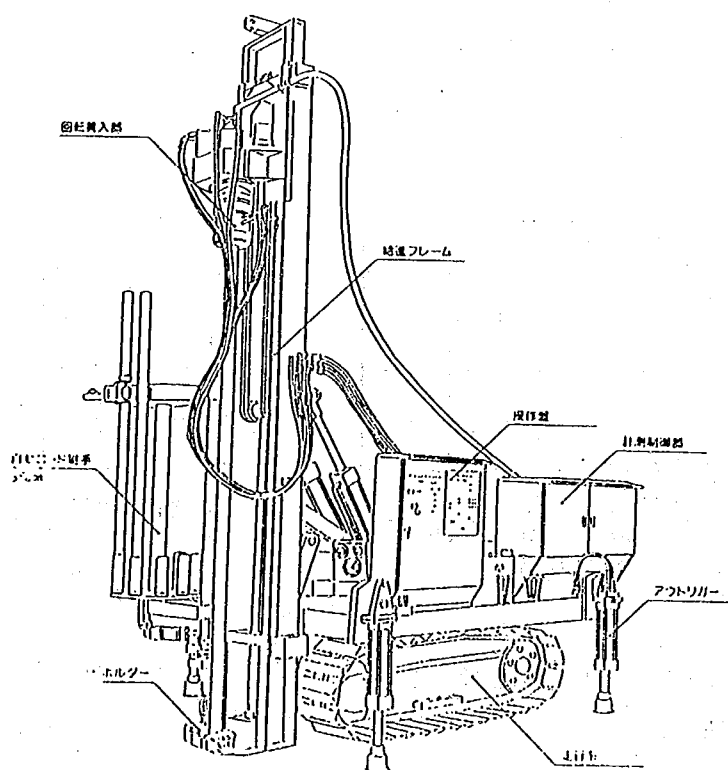


図-8.7 装置の概略図

装置、⑤計測処理装置、⑥自動ロッド格納装置から構成されており、それぞれの仕様を表-8.2に示す。

先端ビットは、室内模型試験と同形状のものであり、寸法は図-8.8に示すように掘削外径65mmのものを用了。

表8.2 装置の仕様

項 目		仕 様
回 転 部	回 転 数	0-130rpm(高速) 0-65rpm(低速)
	回 転 ト ル ク	0-100Kgf・m(高速) 0-200Kgf・m(低速)
貫 入 部	貫 入 力	9800Kgf
	サーボ自動制御 貫入力	500Kgf
	貫 入 速 度	3(19)cm/sec
油 圧 装 置	油 量	44(9)Q/min
	油 圧	210Kgf/cm ²
	動 力	22Kw4p
水 ポンプ	吐 出 量	1-119Q/min
	吐 出 圧 力	0-27Kgf/cm ²
寸 法 ・ 重 量	高 さ	4300(2400)mm
	巾	2200-2700(2200)mm
	長 さ	4500(4200)mm
	重 量	7500Kgf

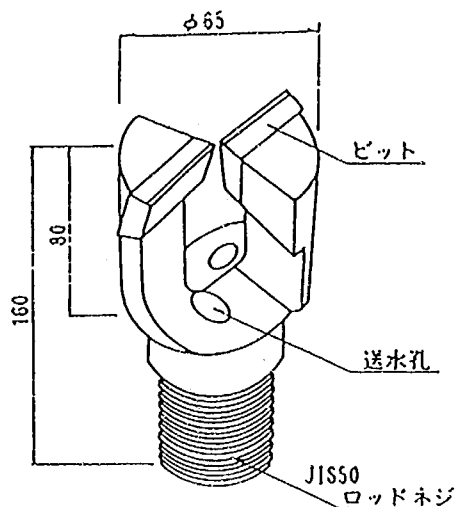


図-8.8 先端ビット

セメント系固化材を添加した供試体、石灰系固化材を添加した供試体に対して設定した試験条件を表-8.3、表-8.4に示す。また、表-8.5には安定材と混合するのに用いた試料砂の土質試験結果、表-8.6には円柱状の改良体からサンプリングしたコアの一軸圧縮強度(28日養生)を示す。

(2) 試験結果

図-8.9には、貫入速度と一軸圧縮強度との関係を示す。試験を速度制御で行うことが難しく、速度制御が上手く行われていないことがわかる。これから、貫入速度のみを一軸圧縮強度を推定するパラメータとして用いることは困難であると思われる。このことは8.3.1の模型装置による室内試験結果(図-8.4)とほぼ一致している。

図-8.10には、ロッド回転数と一軸圧縮強度の関係を示す。この図より試験においては回転数がほぼ一定で行われたことがわかる。ただし、一軸圧縮強度が大きい改良体においては回転数が若干減少している。

表-8.3 実験条件 (セメント系)

要 因	水準数	範 囲	備 考
貫入速度	5	2.5~15mm/sec	
貫入推力	3	25~300kgf	
回 転 数	3	40, 60, 80rpm	
削孔強度	4	目標 $q_u = 1, 5, 10, 30\text{kgf/cm}^2$	

表-8.4 実験条件 (石 灰 系)

要 因	水準数	範 囲	備 考
貫入速度	5	2.5~15mm/sec	
貫入推力	3	25~300kgf	
回 転 数	3	40, 60, 80rpm	
削孔強度	4	目標 $q_u = 1, 5, 10, 30\text{kgf/cm}^2$	

表-8.5 土質試験結果

粒 度 特 性	礫 分 (2000 μm 以上)	%	0.0
	砂 分 (75~2000 μm)	%	28.9
	シルト分 (5~75 μm)	%	34.6
	粘土分 (5 μm 以下)	%	36.5
	最 大 粒 径	mm	2.0000
	均 等 係 数 U_c		-----
	曲 率 係 数 U_c'		-----
コン シス テン シ特 性	液 性 限 界 W_L	%	103.0
	塑 性 限 界 W_p	%	32.0
	塑 性 指 数 I_p		71.0
分 類	日本統一土質分類		CH
	三角座標表示法		f
土 粒 子 の 比 重 G_s			2.602
自 然 状 態	含 水 比 W_s	%	109.6
	湿 潤 密 度 ρ_s	g/cm^3	
	同 隙 比 e		
	飽 和 度 S_r	%	
土のP. H. 値			6.15
強 熱 減 量 %			11.42
重クロム酸法 (%)			

表-8.6 コアの一軸圧縮強さ

柱体 No	部位	目標 強度 (kgf/cm^2)	コア一軸圧縮強さ (kgf/cm^2)		備 考
			セメント系 固化材	石灰系 固化材	
1	上部	5	2.8 2.3	0.8 0.4	添加量 150 kg/m^3
	下部	1	0.5 * 0.5 *		添加量 50 kg/m^3
2	上部	5	4.9 4.3	0.5 0.4	
	下部	1	0.9 * 0.9 *		
3	上部	30	28.4 36.6	9.1 6.1	添加量 450 kg/m^3
	下部	10	11.7 0.7	1.8 1.6	添加量 250 kg/m^3
4	上部	30	34.3 27.3	8.8 6.8	
	下部	10	16.3 11.1	2.8 2.6	
5	上部	10	13.5 11.7	3.0 1.4	
	下部	1	1.5 * 1.5 *		
6	上部	10	9.9 18.4	0.3 3.8	
	下部	1	1.5 * 1.5 *		
7	上部	30	33.1 39.3	7.1 5.2	
	下部	5	5.7 4.0	0.6 * 0.7 *	
8	上部	30	18.8 26.3	5.5 10.0	
	下部	5	3.3 2.3	0.5 0.4	

* コアサンプルの径 $\phi 50\text{mm}$ 、その他 $\phi 80\text{mm}$ 、

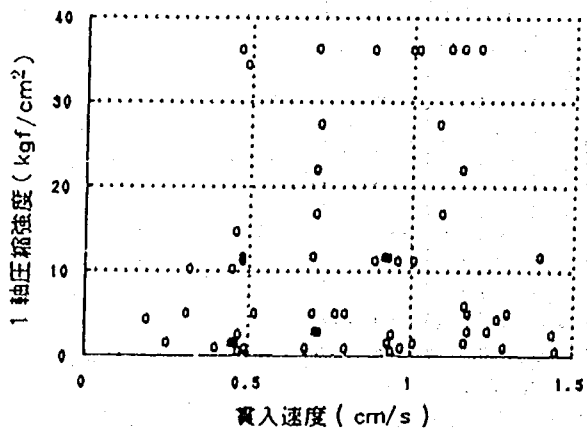


図-8.9 貫入速度と一軸圧縮強度
(セメント系)

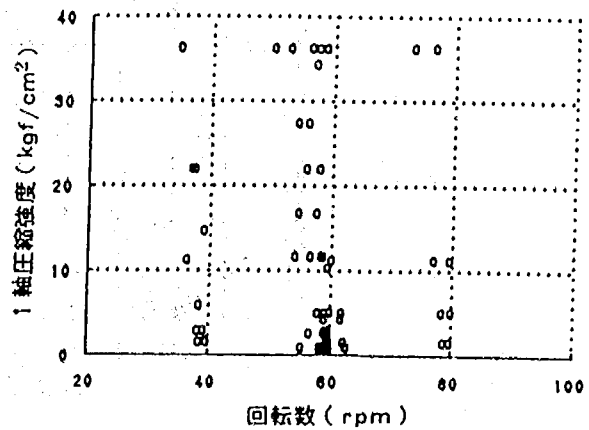


図-8.10 回転数と一軸圧縮強度
(セメント系)

図-8.11には、貫入推力と一軸圧縮強度との関係を示す。これより、一軸圧縮強度が大きくなるに従って貫入推力も増加しているようであるが、分布のバラツキが大きく一概には言えない。

図-8.12には、回転トルクと一軸圧縮強度の関係を示す。回転トルクも貫入推力同様に一軸圧縮強度とほぼ正の相関を示しているようであるが、同じ一軸圧縮強度でも回転トルクの範囲が広く、これだけでは一軸圧縮強度の推定は困難であろうと思われる。

図-8.13には、削孔時の送水圧と改良体の一軸圧縮強度を示したものである。これより、今回の改良体の削孔時にはあらゆる範囲の水圧が表れている。送水圧は削孔が円滑に行われなかった場合に高くなることから、一軸圧縮強度が大きい場合には大きな値を示すと思われた。しかし、今回の適用性試験では同じ一軸圧縮強度でもいろいろな送水圧で削孔が行われている。

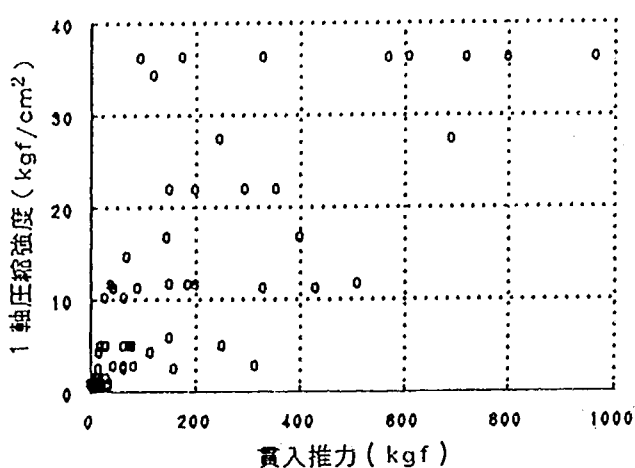


図-8.11 貫入推力と一軸圧縮強度
(セメント系)

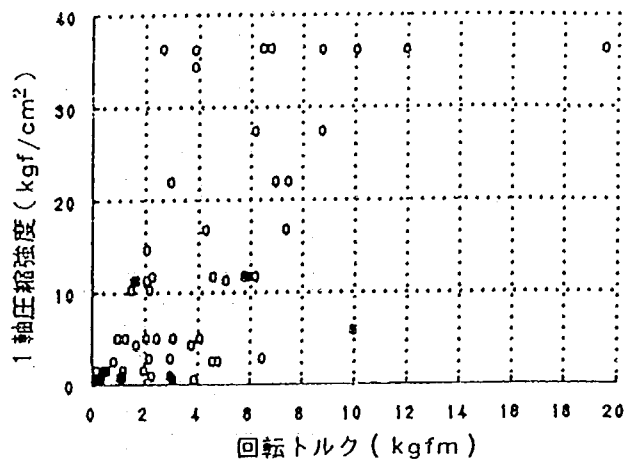


図-8.12 回転トルクと一軸圧縮強度
(セメント系)

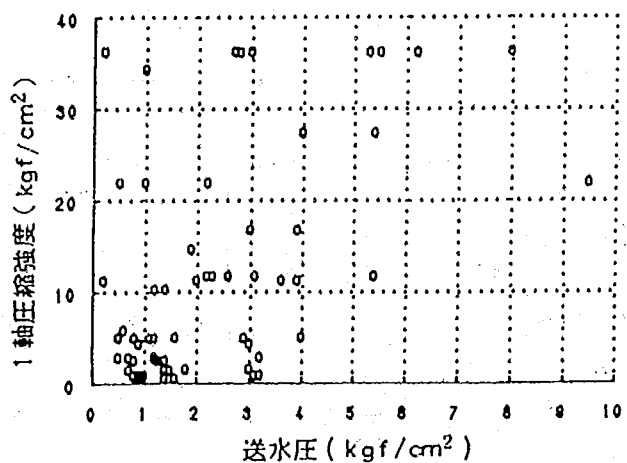


図-8.13 送水圧と一軸圧縮強度
(セメント系)

(3) 室内模型試験結果との比較

実機による適用性試験結果と室内模型試験結果を見ると、両者とも一つの指標からは改良体の一軸圧縮強度を推定することは困難である。このようなことから、いくつかの指標を含めた比削孔エネルギーは有効と考えられる。図-8.14には両者から得られた比削孔エネルギーを比較したものである。室内模型試験においては一軸圧縮強度と比削孔エネルギーは高い相関性を示しているが、実機を用いた適用性試験では相関係数は低い。これより、実機を用いた場合には各測定パラメータに影響する因子が多いと考えられる。たとえば、先端ビットの寸法の違い、改良体の不均質や貫入ロッドの芯のずれ、掘削土のクリーニングの不完全などが挙げられる。

このため、比削孔エネルギーを改良体の品質確認に適用することに関しては、今後のデータから考察しなければいけない。

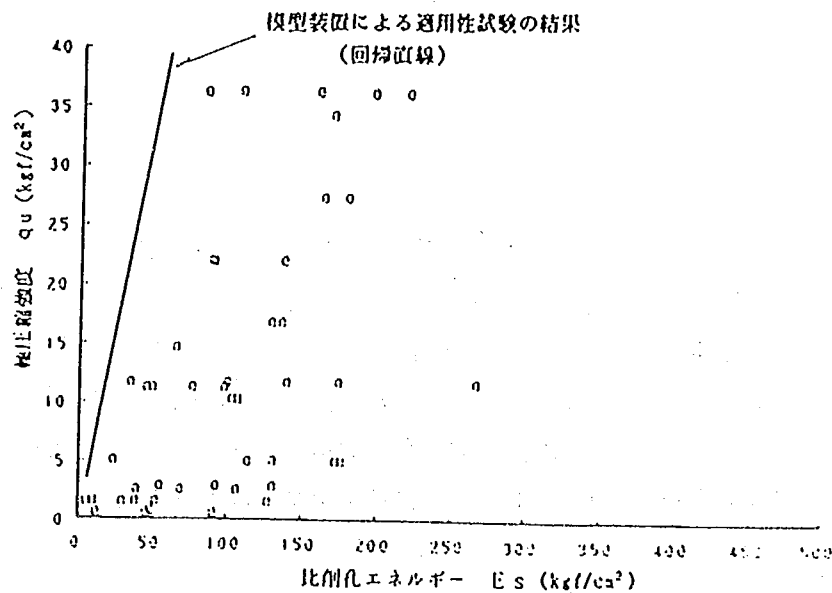


図-8.14 比削孔エネルギーの比較

8.4 実現場での調査

8.4.1 セメント系固化材を用いた現場

(1) 調査試験場所

試験は川崎国道工事事務所管内で行われている羽田地区深層混合処理工事を対象とした。地盤改良材はセメントを使用し、改良柱体は直径1m、深さ20m~30mである。なお調査地点の地盤改良前の地質構成は、上位より埋土層、シルト質粘土、砂混じりシルト、粘土質シルトおよびシルト質砂と続いている。

(2) 調査試験方法

1) 測定方法

削孔パラメータの測定は測定用のソフトプログラムにより自動的に行われ、測定条件は各種削孔条件に応じた操作メニューにより設定される。操作メニューでは①操作内容の選択、②内部時計の確認、③フロッピーディスクの初期化設定、④電源電圧の確認、⑤測定開始時間の設定、⑥測定間隔の設定を行う。

測定条件設定後は、ベースマシンが自動的に測定体制に入り、内部の時計によって測定開始時刻を検出して測定を開始し、計測条件終了命令を入力するまで測定を継続実行する。また、内蔵RAMに記憶されたデータは、削孔終了後に回収しパソコンと接続して自動的に読み取ることができる。

フロッピーディスクに記憶されたデータは、データ処理用、データ解析用のソフトプログラムにより、対話方式で処理する。また、データ処理の段階においては、各センサーの較正值、初期値、初期削孔深度等を入力することによりロード継ぎ足し時、引き上げ時等を除いた有効削孔時のみのデータを処理している。

データの出力は、作表、作図等の選択メニューにより作業内容を入力し、任意の出力結果を得ることができる。

2) 試験方法

現場試験対象杭は、コアボーリングを実施した改良柱体とし、試験位置は図-8.15に示すようにコアボーリング実施位置と対角線上に改良柱体径の $\frac{1}{2}$ (50cm) 離れた地点とした。なお、削孔パラメータの測定は、ロード先端部に設けたセンサーによる地中測定と合わせて、これらのデータを補完するため地上部においては、ベースマシンの油圧等の測定も行った。表-8.7に測定項目を示す。地上部における回転数及び削孔位置は、ベースマシンに取り付けられているタコジェネレータ及びエンコーダにより測定し、ベースマシンの各油圧測定はアンブ内蔵型の油圧センサーにより測定した。

表-8.7 測定項目

地中情報 (計測ロード)	外部情報 (地上部)
①ロード先端部の推力	①回転数
②ロード先端部の回転トルク	②削孔(位置)
③ロード先端部の水圧	③ベースマシン系統の油圧 (推力油圧、回転油圧)
	④ボーリングポンプの送水圧等

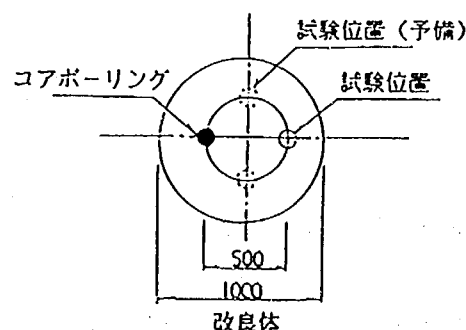


図-8.15 試験位置

3) 試験条件

試験条件は、削孔パラメータの貫入速度及び回転数を一定条件に設定し、この条件から得られる貫入推力及び回転トルクに着目した。なお、第1回調査試験では、貫入速度及び回転数を一定に制御することが困難であるため、最大貫入速度及び最大回転数を規定して行った。第2回調査試験ではサーボ制御

装置を設け、貫入速度及び回転数を一定条件にして試験を行った。また、切削土の排土のためビットの端より清水を送水循環させながら試験を行った。試験条件を表-8.8に示す。

表-8.8 試験条件

項目	第1回調査試験	第2回調査試験
設定回転数	最大60回転/min	60回転/min
設定貫入速度	最大1.0 cm/sec	0.5cm/sec
ボリダンプ送水量	清水約50ℓ /min	清水約50ℓ /min
計測インターバル	3～5 sec	5 sec

(3) 調査試験結果

図-8.16～19に第1回調査試験結果を示す。これらの図より、改良柱体の一軸圧縮強度に対応し貫入推力及び回転トルクの変化が見られる。しかし、貫入速度、回転数の自動制御ができなかったため、一軸圧縮強度の大きい箇所においては貫入速度が遅くなり、回転数については削孔深度が深くなるにつれて低下する傾向にある。

図-8.18～19に第2回調査試験結果を示す。貫入速度と回転数が設定した値で自動制御されており、一軸圧縮強度との対応で貫入推力及び回転トルクが同じ出力波形で検出している。

(4) 考 察

1) 一軸圧縮強度との適合性

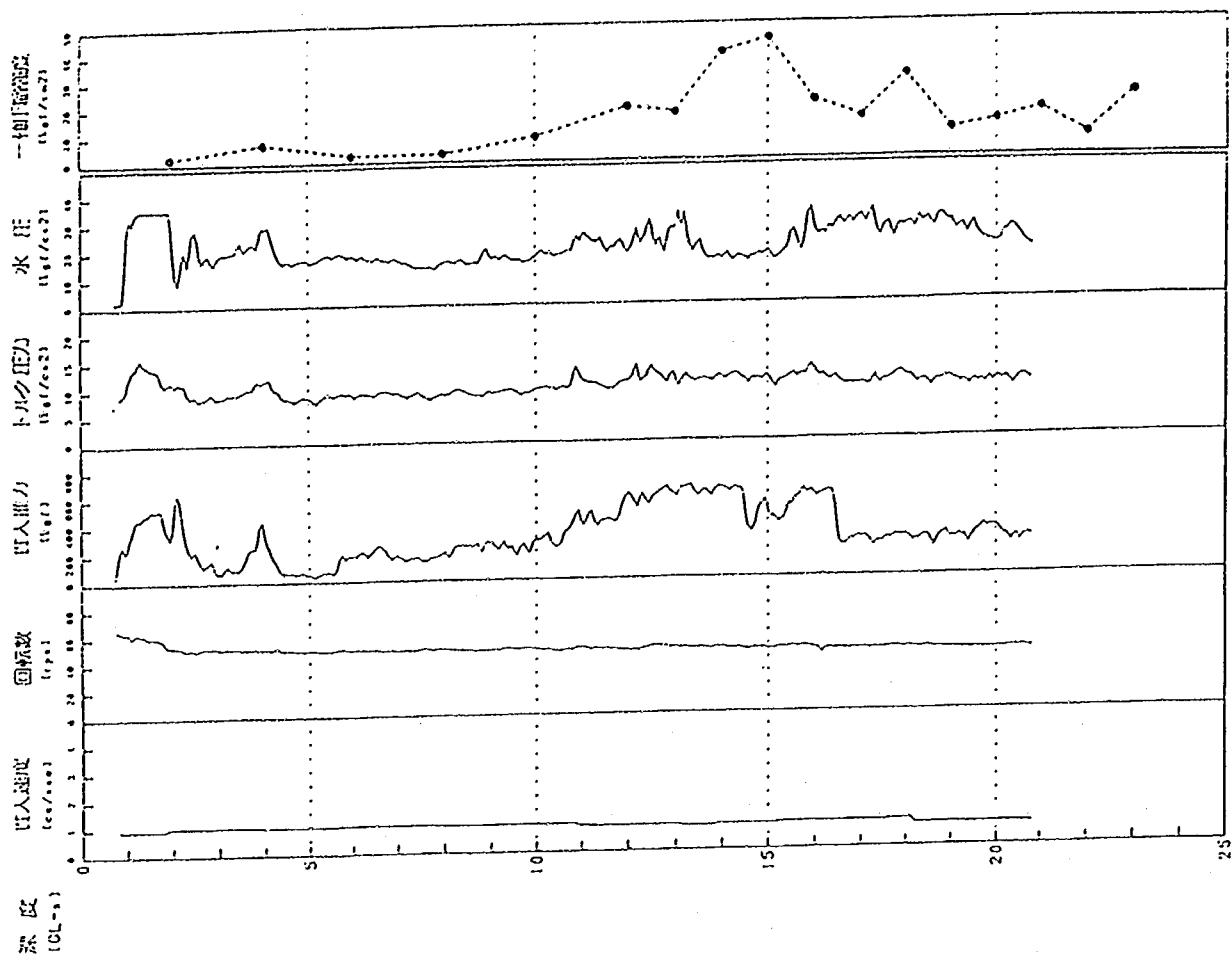
図-8.20～21は、貫入推力及び一軸圧縮強度を重ね合わせて作図したものである（ただし、オーダは異なる）。第1回調査試験結果である図-8.20の比較図より、両者は比較的相関性が高く、貫入推力をパラメータとした概略の地盤強度判定が可能と考えられる。

また、第2回調査結果である図-8.21の比較図は、一軸圧縮試験結果が少なく、適正な判定ができない。さらに、両者の測定結果に大きなバラツキが見うけられ、必ずしも整合性が高いとは言えない。

2) 削孔パラメータの適用性

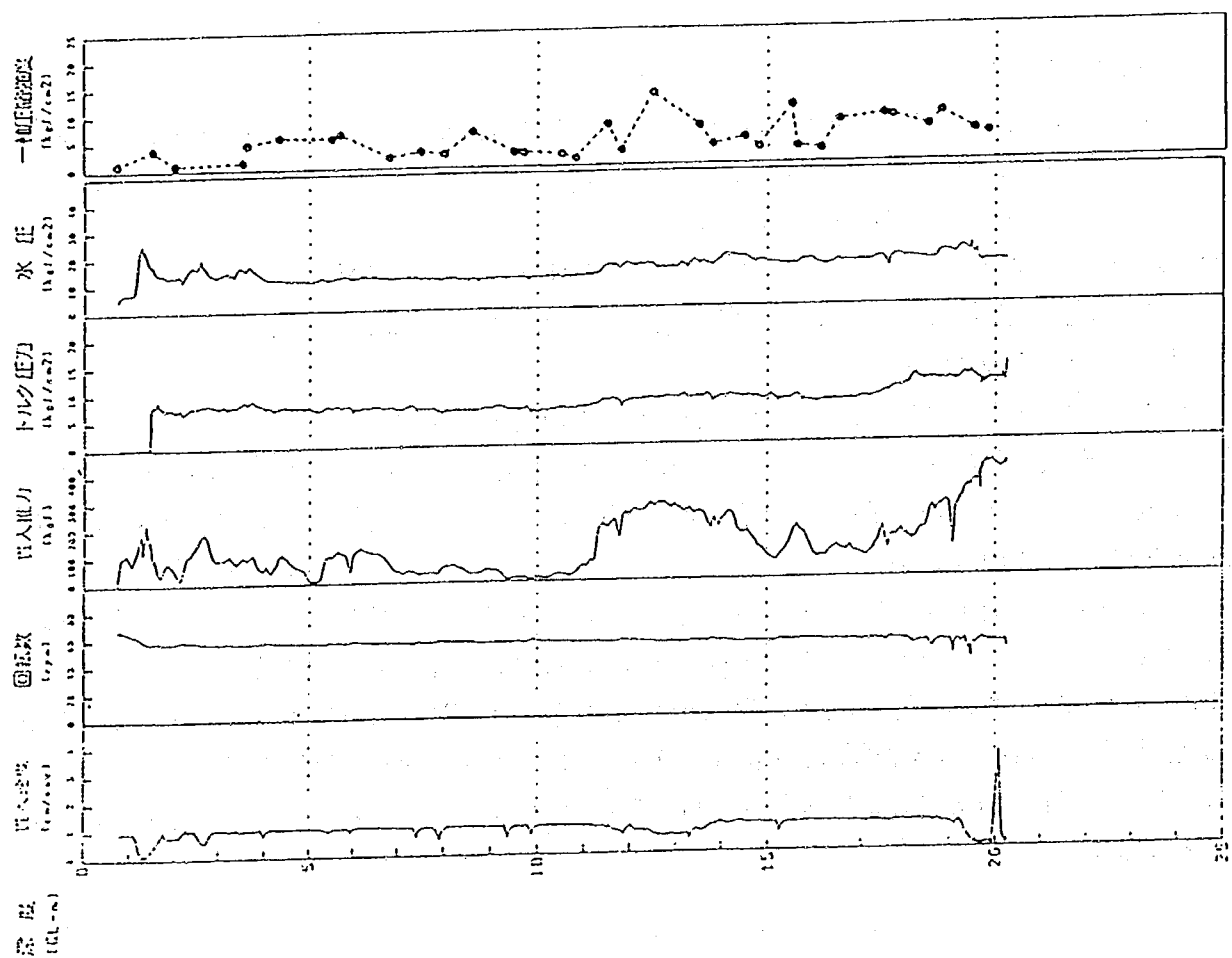
図-8.22～24は、第1回調査試験結果で得られたデータの貫入推力、貫入速度及び回転トルクと一軸圧縮強度との関係を示したものである。なお、改良柱体の各杭頭から1m以浅、および深度20m以深の未改良部分に対してはデータを削除している。プロットしたデータは、一軸圧縮試験の実施深度に対して上・下10cm区間の平均値である。

これらの図から、各削孔パラメータのうち、貫入速度及び回転トルクは概ね一軸圧縮強度の大きさに関係なくほぼ一定値を示していることがわかる。特に、貫入速度は試験条件にも記したように最大貫入速度を規定した試験であるため、ほとんど変化が見られなかった。従って、地盤強度として一軸圧縮強度を考えた場合、これに最も適合性のある削孔パラメータは、本試験条件では貫入推力と考えられる。貫入推力と一軸圧縮強度の関係は図-8.22からわかるようにバラツキは大きいですが、両者の間に相関があると考えられる。



図—8.16 第1回調査試験結果

図—8.17 第1回調査試験結果(2)



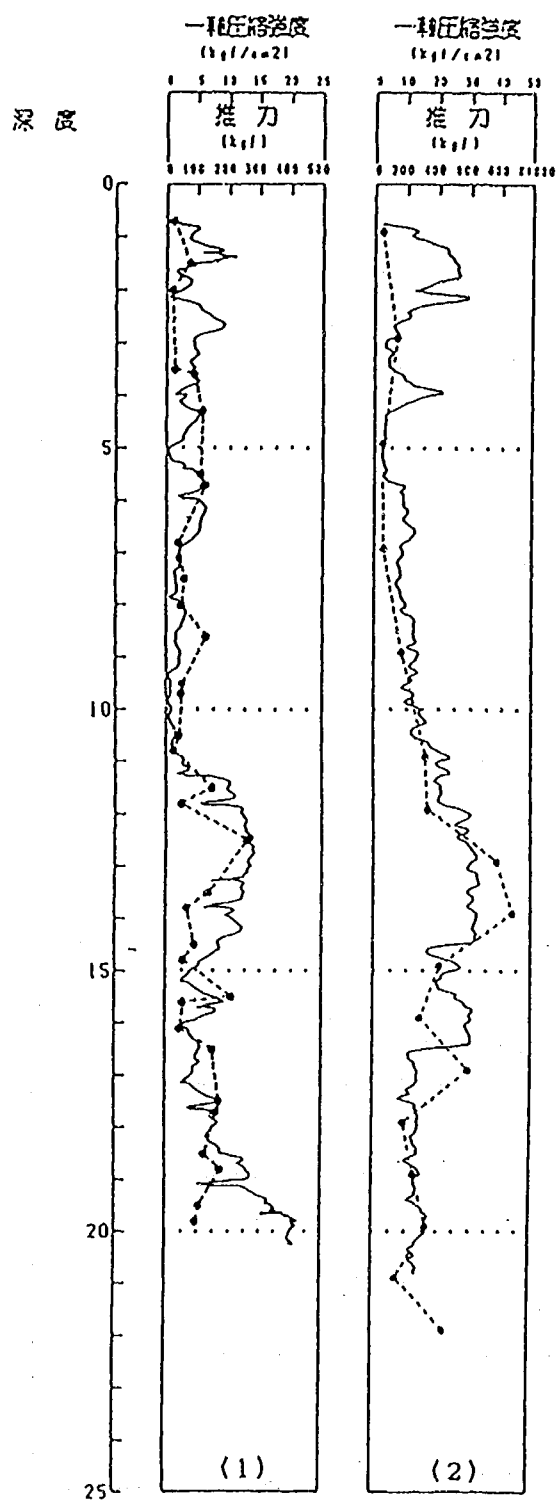


図-8.20 貫入推力と一軸圧縮強度の比較図
(第1回調査試験結果)

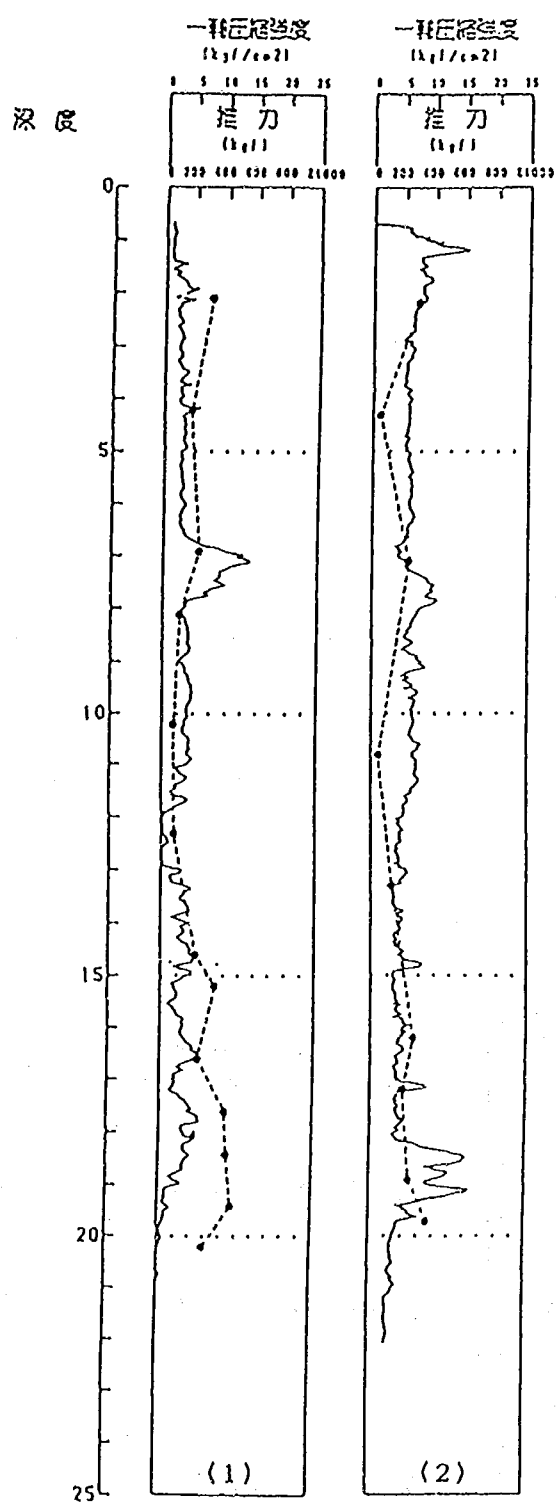


図-8.21 貫入推力と一軸圧縮強度の比較図
(第2回調査試験結果)

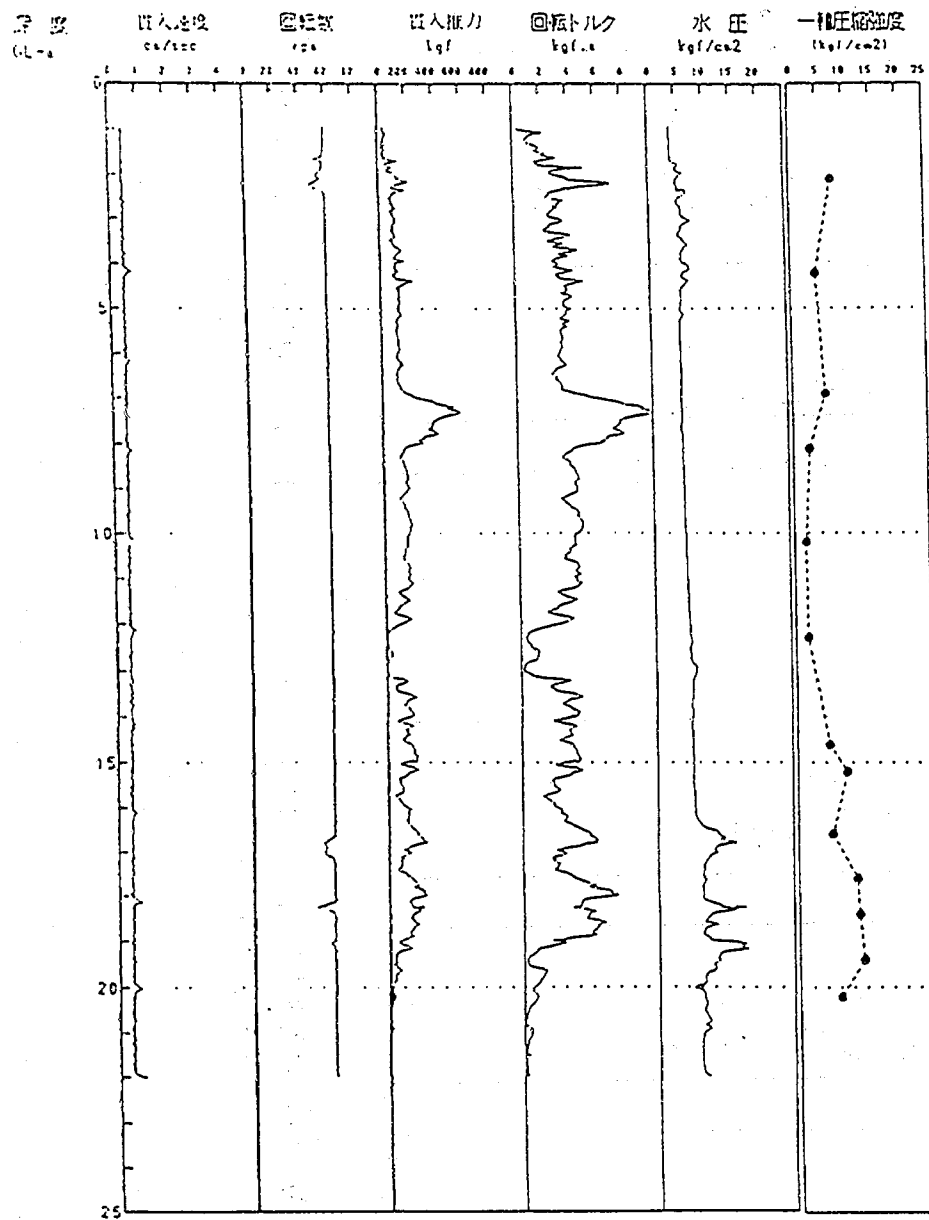


図-8.18 第2回調査試験結果(1)

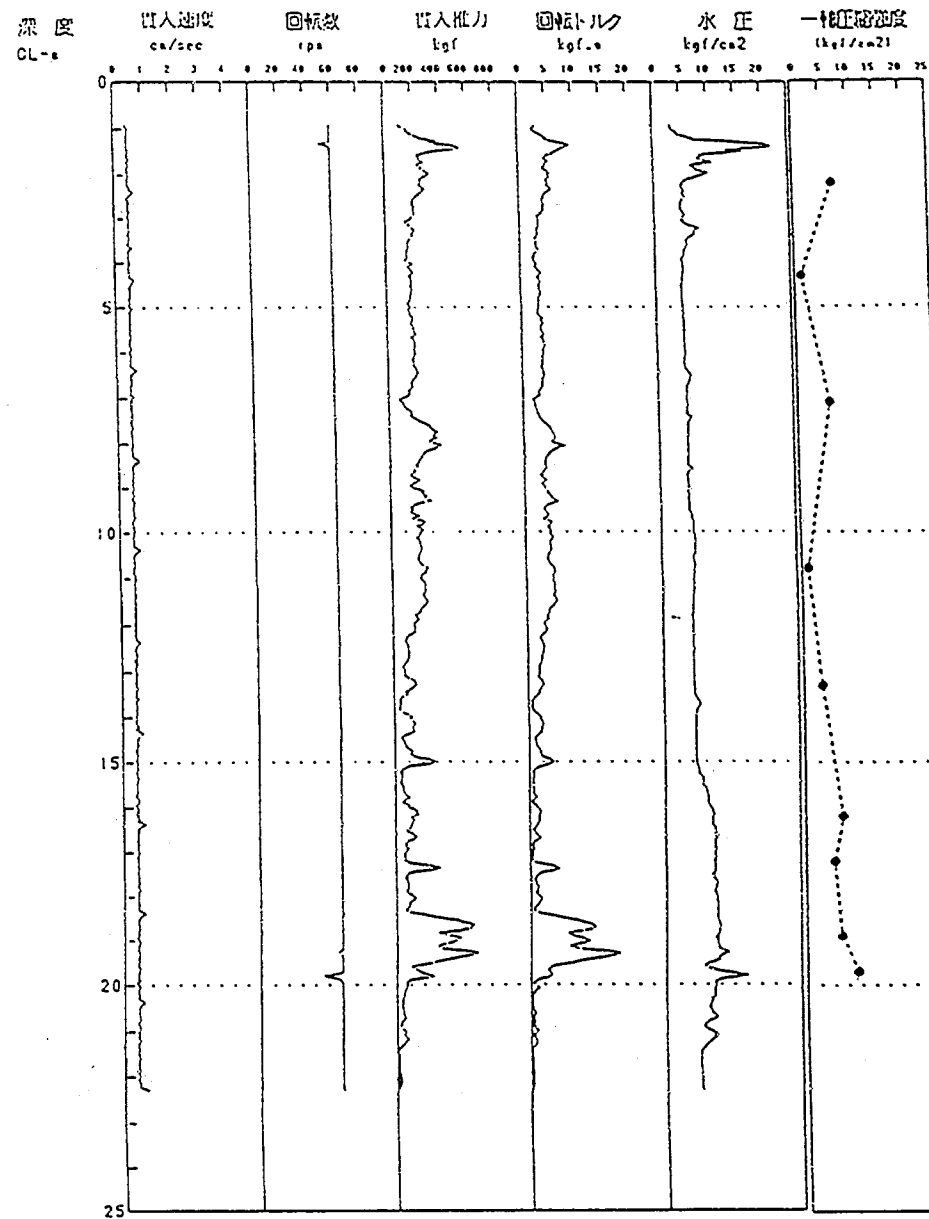


図-8.19 第2回調査試験結果(2)

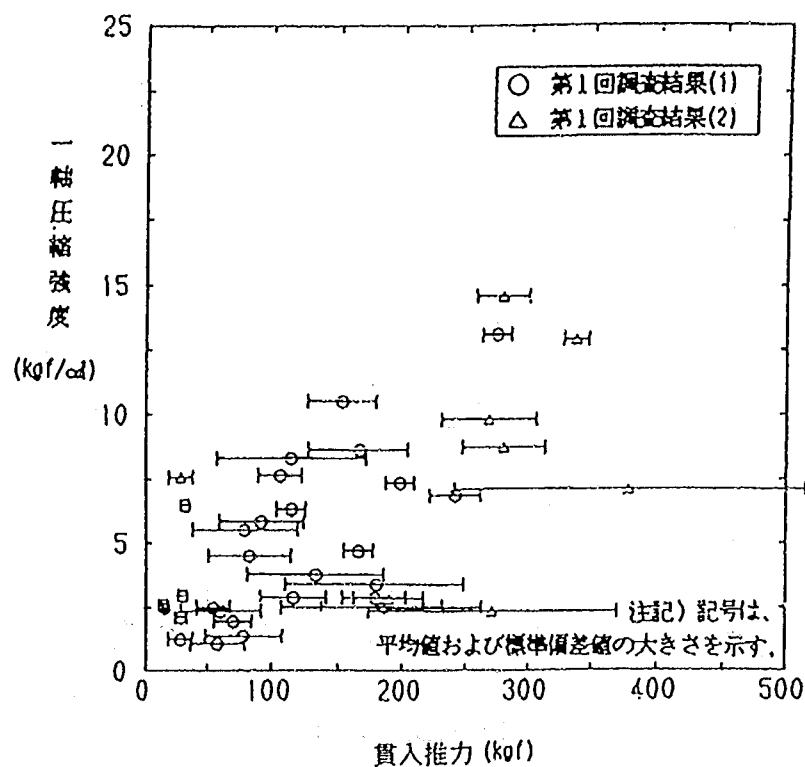


図-8.22 貫入推力と一軸圧縮強度の関係

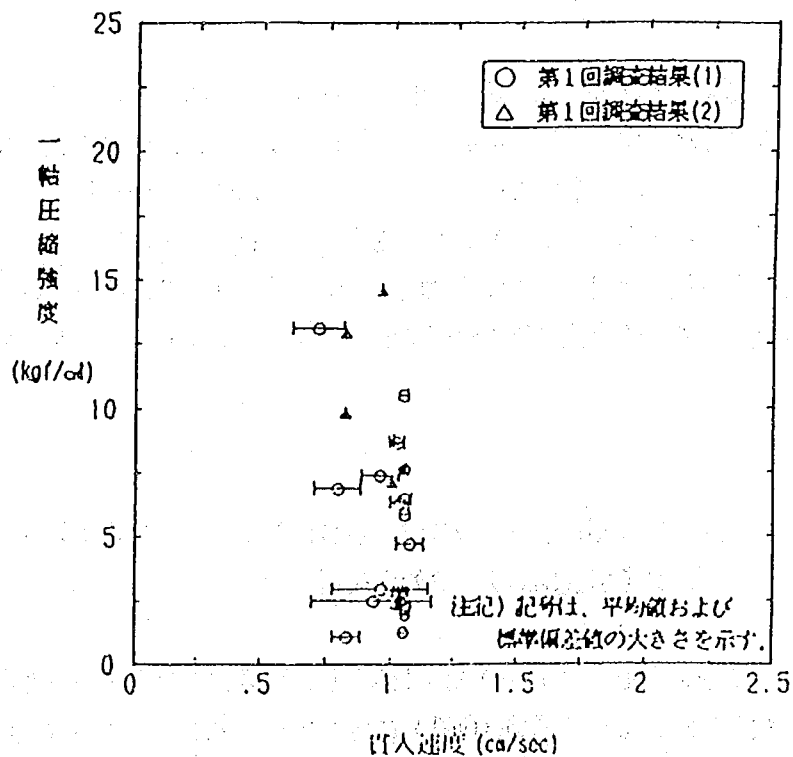


図-8.23 貫入速度と一軸圧縮強度の関係

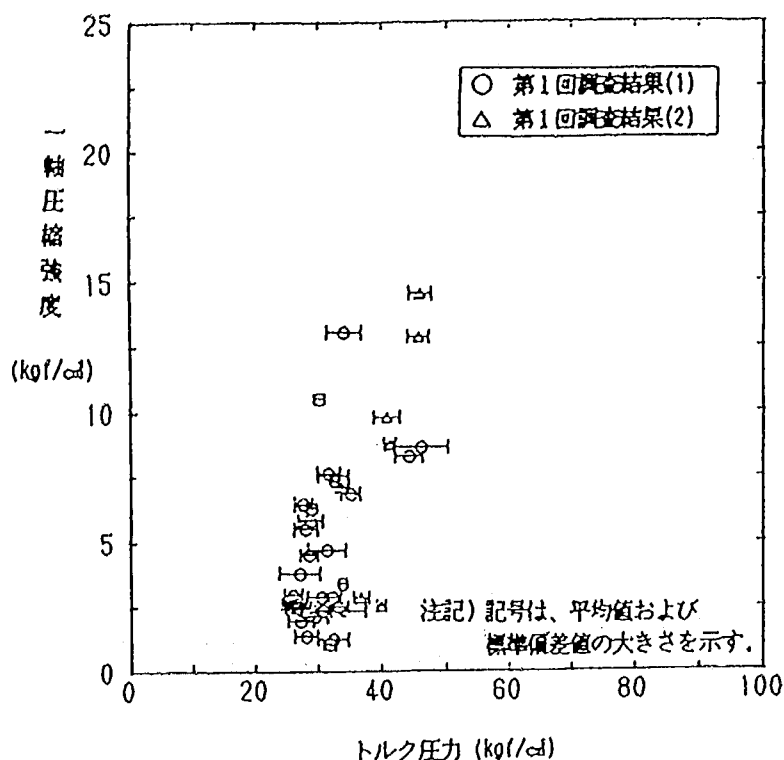


図-8.24 トルク圧力と一軸圧縮強度の関係

8.4.2 石灰系固化材を用いた現場

(1) 調査試験場所

石灰系固化材を用いた実現場の調査試験は、武雄工事事務所管内の堤防基礎処理（その2）工事を対象として行った。本現場の地質は、図-8.25に示すようにGL-4～-12mに存在するN値0の軟弱でほぼ均一な砂混じり粘土層である。本工事は現堤防の除波工嵩上げに伴い現地盤強度で即時施工が不可能なため、その裏小段円弧すべり防止として、粉体噴射攪拌工法（DJM工法）による軟弱地盤処理を行うものである。固化材は生石灰を使用し、改良体は杭径1m×杭長10mで、改良杭数は1065本（改良率50%）の規模で施工されている。改良後の施工管理は全体で4本のチェックボーリングによるコア検査が行われている。

(2) 調査試験方法

1) 測定方法

測定はセメント系の場合と同様に計測ロッドに取り付けられた各センサーによる計測データを内蔵RAMに記憶させ、削孔終了後データを引き出しデータ処理を行った。

2) 試験方法

現場試験対象杭は、コア検査を実施した4本の改良柱体とし、削孔位置はセメント系と同様にコアボーリング位置の50cm反対側とした。また、試験（削孔）に際しては孔曲がりによる改良体からのずれに注意しながら掘進したが、削孔ロッドが改良体から外れた場合には削孔位置を同一円周上に90度ずらし再度実施した。

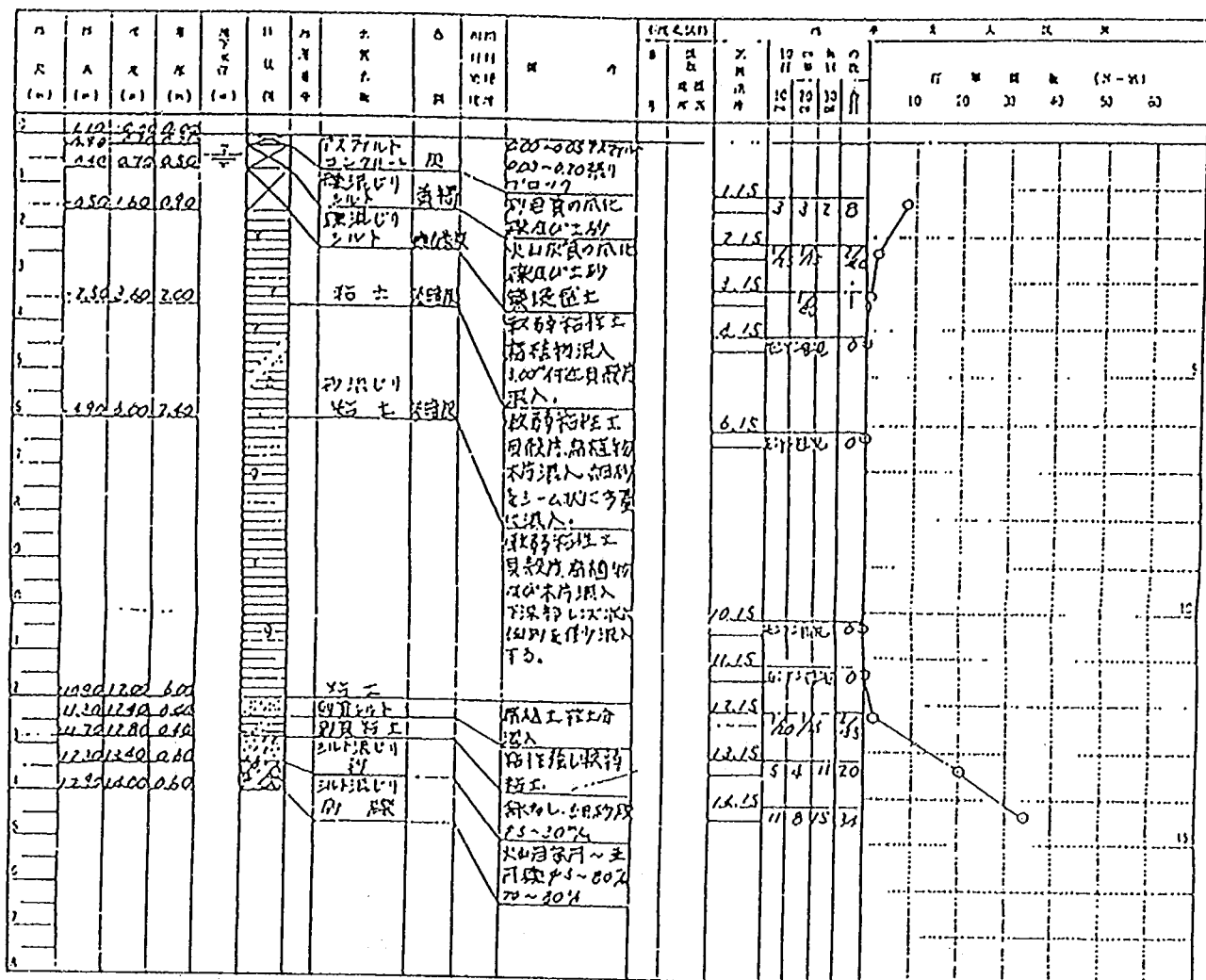


図-8.25 調査試験位置付近の柱状図

(3) 試験条件

調査試験はサーボ制御装置を設けたベースマシンを使用し、貫入速度および回転数を一定に制御し、貫入推力、回転トルク、水圧を計測した。また、削孔時はセメント系と同様に掘削土の排土のためビット先端より清水を送水循環させた。

試験条件は次のことを考慮して表-8.9のとおり決定した。

① 回転数

一般のボーリング調査時の回転数を目安として設定し、得られたデータが直接的に反映されることを考慮して決めた。

② 貫入速度

計測ロッドのメモリー容量およびインターバルの組み合わせにより計測時間が限定されるため、削孔時間を考慮して貫入速度は0.5cm/secと設定した。

表-8.9 試験条件

項目	試験条件
回転数	60 RPM
貫入速度	0.5 cm/sec
送水量	50 l/min
測定ピッチ	5 sec

③ 送水量

自然地盤、改良土での予備試験の結果、50ℓ/min程度の送水量で十分排土されることを確認して決定している。なお、この送水量以外では、先端ビット送水孔からの圧力が高くなり、軟弱層においてはウォッシュボーリング的な削孔条件となることが考えられる。

④ 測定ピッチ

計測インターバルの設定は3, 4, 5, 10secが選択可能であるが、10secを選択した場合、貫入速度0.5cm/secのとき、5cm貫入ごとに1ポイントのデータしか得られないため、一軸圧縮強度との対比に支障を生じる。したがって、計測インターバルは5secとした。

(3) 調査試験結果

調査試験結果を図-8.26～図-8.28に示す。本現場の地層が比較的安定していることや本現場の地質が石灰系固化材に対して相性が良いことなどから、セメント系の現場に比べ一軸圧縮強度のバラツキは小さい。また、セメント系と同様に、一軸圧縮強度と貫入推力および回転トルクがほぼ同じ波形で出力されており、実現場での調査試験結果からも回転貫入サウンディング装置の有用性が見い出せた。

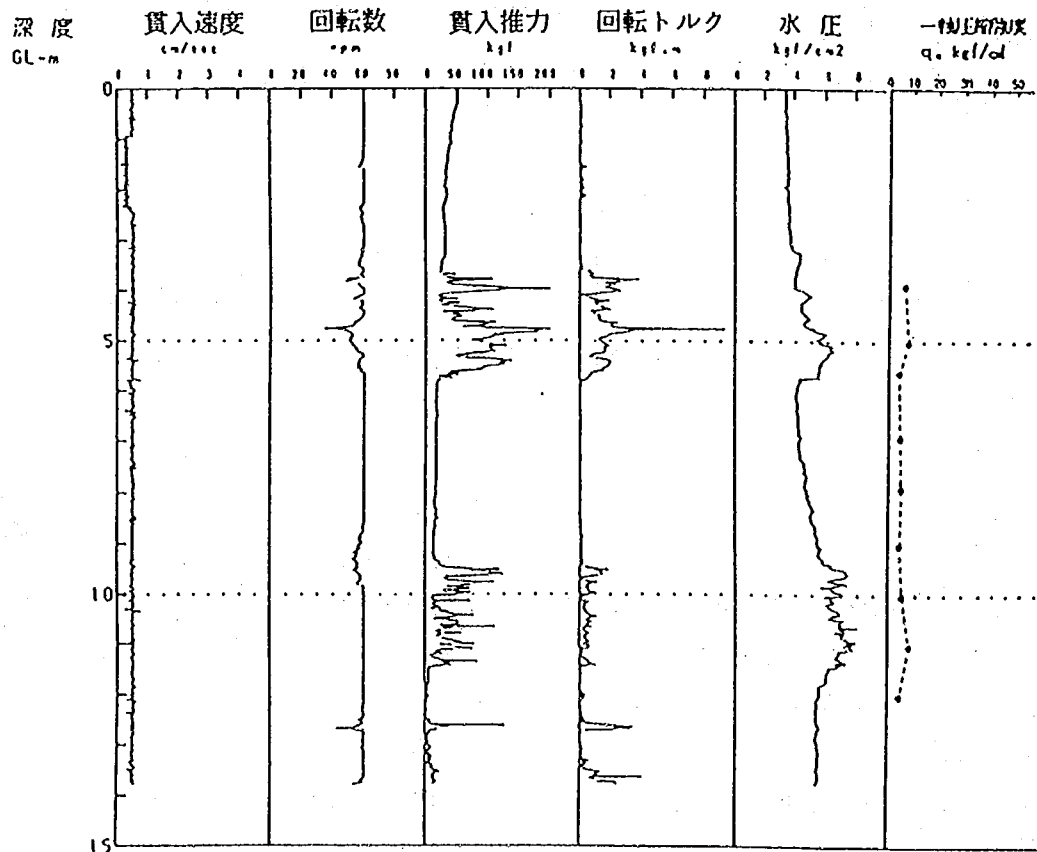


図-8.26 調査試験結果(1)

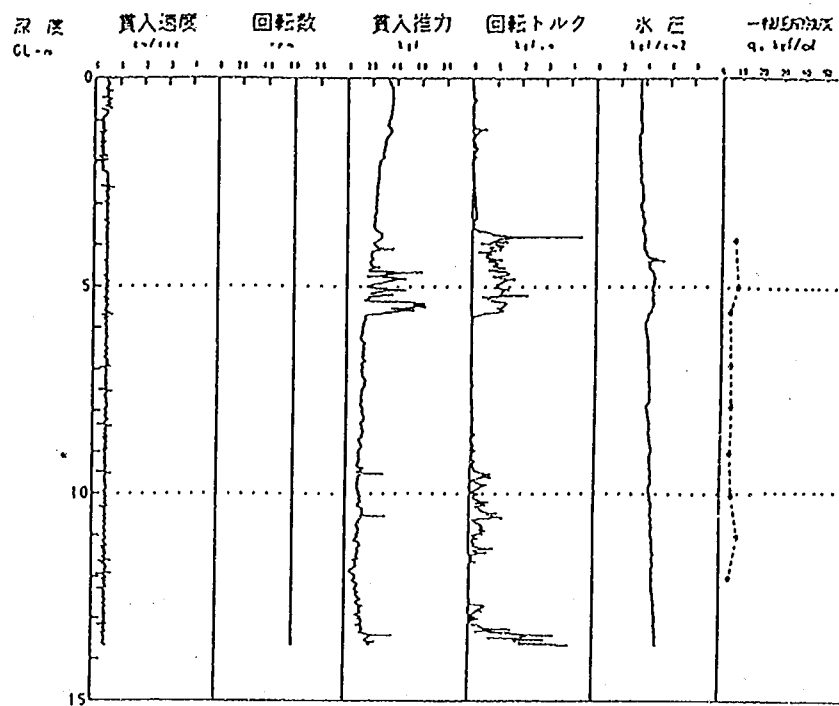


図-8.27 調査試験結果(2)

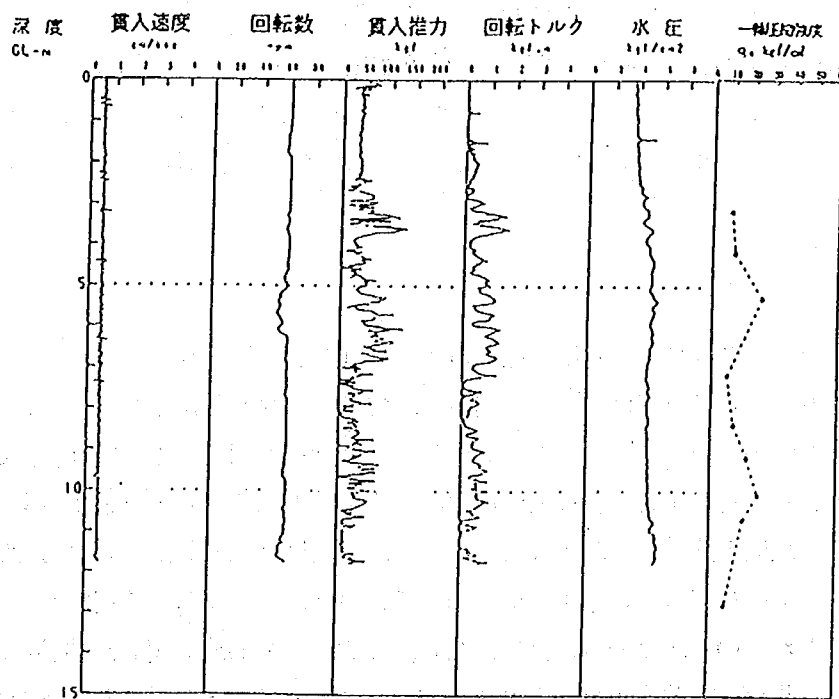


図-8.28 調査試験結果(3)

8.5 施工管理方法の提案

8.5.1 一軸圧縮強度の推定方法

室内試験の結果が示すように、同一の地盤を同一の安定材を用いて処理した場合、切削抵抗と材料の一軸圧縮強度とは強い相関関係にある。ここでは、切削抵抗の指標として比削孔エネルギーを用いることを提案している。この指標を用いることによって、対象地盤の一軸圧縮強度をある程度推定することができる。しかし、試験結果が示すように、地盤が異なったり、あるいは安定処理材が異なると、比削孔エネルギーのみでは対象地盤の一軸圧縮強度を推定することはできない。施工管理を考えた場合、現場の条件によって比削孔エネルギーと一軸圧縮強度の関係を予備的に求めておくことが必要であろうと考えられる。

8.5.2 施工管理方法

施工管理の視点では、施工後できるだけ早い時期に、施工結果を知ることが必要となる。場合によっては、施工と同時に結果を知り、それを施工にフィードバックして反映させることも必要となる。しかし、セメントや石灰の混合処理工法のように反応系の工法では物理的な強度が発揮されるまでに時間がかかり、実時間的な施工管理を行うことは非常に難しい。このようなことから、一軸圧縮強度の1週強度から4週強度を推定する方法も検討することが必要であろう。

現在、軟弱地盤処理工の品質管理は一軸圧縮強度によって行われているが、施工管理では必ずしも一軸圧縮強度による必要はない。一軸圧縮強度の相関関係にある指標で、より簡単に安価で測定できる指標があれば、それを用いることも一つの方法であろう。回転貫入サウンディングによる施工管理は、この一環として位置付けられる。安定処理地盤は、強度が増すことによって切削に対する抵抗も大きくなる傾向にあり、回転貫入サウンディングによって得られた指標が一定の値に達した場合、一応の施工が行われていると判断できるような定量化を行うことが、今後の施工管理方法になるものと思われる。

8.6 今後の問題点

回転貫入サウンディング(RPT)は、標準貫入試験(SPT)やコーン貫入試験(CPT)と同様、地盤の現位置試験方法として位置付けられる測定方法である。RPTはSPTやCPTと比較して測定対象地盤に加える力が小さいにも関わらず、広い範囲の強度に適用できるという特徴があり、今後の研究が重要かと思われる。RPTを軟弱地盤処理工法の施工管理に適用しようとする考えは、コアボーリングによる一軸圧縮試験と比較して測定経費が安く、測定と同時に結果が得られるという即時性から生じたものであろう。実験及び調査の結果では、施工管理方法として十分な適用性を持つことが示され、一応の研究成果を得たものと評価できよう。ただし、セメントや石灰を用いた地盤処理は化学反応を利用したものであり、物理的な強度が発揮されるまでに時間が必要であり、強度で管理する限り測定結果を直ちに施工に反映させるということはできない。RPTによる測定方法がいかにも即時性を持つといっても、処理地盤の強度を測定するまでには待ち時間が必要であり、この意味で測定結果を施工に直接反

映させる，いわゆる情報化施工の視点からでは，やや不満な点が残るかもしれない。一軸圧縮試験の実施時期に関して，4週間の経過を待たなくとも，1週間程度で強度の推定を行う方法については別途研究を進めており，測定結果の施工への反映が現実的な問題として取り上げられるようになることも考えられる。

9. あ と が き

本研究は、工事施工の一層の効率化と土木構造物の品質の向上を推進するため、施工中にリアルタイムに品質管理を行える技術・手法等に関する調査・試験を行い、施工管理手法の合理化、施工に直結した品質管理基準のあり方等を見いだそうとするものである。本研究で対象とした4工種についての研究結果の概要は次のとおりである。

1) 土工における施工管理手法の研究

締固め管理試験としてのR I試験機など、新しい品質管理試験機器について現場での適用性、地盤の特性との関係、合理的な測定頻度等に関する実験的検討を行った。この結果、計測機器の優劣、適用可能範囲、測定結果と地盤特性との関係等についての知見を得ることができ、従来法に代わる合理的な測定手法として実用化が可能であることが明らかとなった。

2) コンクリート工における施工管理手法の研究

硬化後のコンクリートの品質に大きな影響を与える締固め作業について、定量的な施工管理手法を見いだすための実験および検討を行った。この結果、振動機の選択方法・使用方法についてのおおよそのガイドラインを得ることができ、また、コンクリートの充填度等を測定するための測定機器等の性能を確認することができた。

3) 舗装工における施工管理手法の研究

道路舗装の品質管理として行われるコアボーリングに代わる新しい施工管理手法として、R I法による密度管理およびアスファルト量、骨材粒度の確認方法について検討を進めた。この結果、従来のR I試験法の改良によって十分な精度の密度管理が行えること、プラントにおける材料管理値を適用することが可能であることなどが明らかとなった。

4) 軟弱地盤処理工における施工管理手法の研究

深層混合処理工法における改良土の強度確認手法として、コアボーリングによる強度試験に代わる回転貫入サウンディング法の開発と現場適用性試験を行った。この結果、本手法が従来法に代わる簡易な品質管理手法として実用化が可能であることが明らかとなったが、さらに早期管理の可能性等残された課題について検討を進める必要がある。

このように、研究対象の4工種について、新しい施工管理・品質管理の手法・機器の適用性を確認することができた。しかし、当初目的とした施工管理基準等の提言を行うためには、まだ検討が十分とはいえないため、今後も、提案された施工管理手法について現場適応性試験等を重ねるとともに、運用上の課題等についても合わせて検討していくことを予定している。

最後に、3年間にわたり、研究を担当していただいた各地方建設局、北海道開発局および研究にご協力いただいた関係各機関の方々に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所施工研究室；薬液注入工法の注入効果判断手法に関する実験的検討，土木研究所資料第2597号，昭和63年3月。
- 2) 千田昌平，塚田幸広；軟弱地盤改良工法 — 深層混合処理工法 — ，土木技術資料，Vol. 26, No. 9, pp. 54-59, 1984.
- 3) 千田昌平，塚田幸広；軟弱地盤改良工法 — 薬液注入工法 — ，土木技術資料，Vol. 26, No. 10, pp. 51-56, 1984.
- 4) 小島圭二；ボーリングの掘進性能による岩石強度の推定，土木技術資料，Vol. 19, No. 12, pp. 9-16, 1972.
- 5) 建設省土木研究所施工研究室；大口径削孔機械の削孔性に関する研究，土木研究所資料第1310号，昭和53年3月。
- 6) 塚田幸広，下坪賢一，川村浩二；回転貫入サウンディングによる注入地盤の評価，第23回土質工学研究発表会講演集，(社)土質工学会，昭和63年6月。
- 7) 嶋津晃臣，塚田幸広，下坪賢一，川村浩二；安定処理地盤の簡易品質確認手法の開発，第17回日本道路会議論文集，(社)日本道路協会，昭和62年10月。
- 8) 塚田幸広，下坪賢一，川村浩二；回転貫入サウンディングによる改良地盤の品質管理，第42回年次学術講演概要集，(社)土木学会，昭和62年9月。
- 9) 石田 太，下坪賢一，境 友昭；回転貫入サウンディングによる注入地盤の評価（その2），第24回土質工学研究発表会講演集，(社)土質工学会，平成元年6月。
- 10) 岩崎訓明・坂本信義；コンクリート中における内部振動機の振動の伝播特性，土木学会論文集（1982年2月）
- 11) 藤井弘章；締固め管理の手法とし現地締固め試験，土と基礎，Vol. 34, No. 5, pp. 3-11, 1986. 5.
- 12) 山下弘美；アスファルト舗装の施工管理の実態と今後の展望，アスファルト，Vol. 28, No. 144, 1985.
- 13) 高野 漢；施工とエレクトロニクス，アスファルト，Vol. 26, No. 135, 1983.
- 14) 日本道路協会；アスファルト舗装要項
- 15) 川島義昭，山元口浩；アスファルト舗装の設計・施工上の問題点と対策，山海堂。
- 16) 達下文一；道路の舗装，土木技術，Vol. 40, No. 5, 1985.
- 17) 大槻威二 他；R I ゲージによる密度管理，道路建設，No. 502, 1989.
- 18) ラジオアイソトープ講義と実習，pp. 25-84, pp. 145-192, 1974. 5, 丸善
- 19) 土木請負工事必携，pp. 204-211, 1987. 4, 近畿地方建設局
- 20) 境 友昭，出原 浩；土の締固め管理のための非破壊試験法（その2）—インピーダンスヘッドによる土の強さの測定—，第22回土質工学研究発表会講演集，(社)土質工学会，1987. 6
- 21) 田村 徹，川瀬泰裕，境 友昭，見波 潔； “ （その3）—コーン落下による土の強さの測定—，以下同上（〃）
- 22) 藤川富夫，鷹巣征行，佐藤 努，境 友昭，見波 潔； “ （その4）—電磁波の透過性質と締固めの関係—，（〃）

23) 武山峰典, 梅園輝彦, 中川良文, 高田友典, 嶋津晃臣, 見波 潔; “ (その6) -散乱型R
I 法による密度・水分の測定-, (〃)

建設省技術研究会指定課題

「機械化施工における施工管理手法の合理化に関する研究」担当者名簿

所 属	官 職	氏 名	担 当 期 間
建設経済局建設機械課	課長補佐	長谷部 正 和	62. 4～63. 3
		所 輝 雄	63. 4～2. 3
	直轄係長	中 井 登	62. 4～63. 3
		近 藤 治 久	63. 4～2. 3
	調査第二係長	佐 藤 佳 朗	62. 4～62. 8
		藤 原 要	62. 9～1. 11
		進 藤 崇	1. 11～2. 3
土木研究所機械施工部機械研究室 施工研究室	室長	長 健 次	62. 4～2. 3
	主任研究員	村 松 敏 光	62. 5～2. 3
	研究員	渡 辺 和 弘	62. 4～62. 5
	室長	嶋 津 晃 臣	62. 4～63. 3
		苗 村 正 三	63. 4～2. 3
		見 波 潔	62. 4～63. 1
	研究員	田 中 貢	63. 1～2. 3
		塚 田 幸 広	62. 4～63. 9
		境 友 昭	63. 10～2. 3
東北地方建設局道路部機械課 東北技術事務所機械課	課長補佐	丹 野 光 正	62. 4～1. 3
		赤 坂 富 雄	1. 4～2. 3
	業務第二係長	山 田 仁 一	62. 4～63. 3
		阿 部 新 治	63. 4～2. 3
	課長 機械調査係長	中 川 光 一	62. 4～2. 3
		山 田 一 彦	62. 4～63. 3
		木 村 信 悦	63. 4～2. 3
関東地方建設局道路部機械課 関東技術事務所機械課	課長補佐	小佐部 憲 霆	62. 4～63. 3
		関 谷 洋 一	63. 4～1. 9
	業務第一係長	村 松 貞 夫	1. 10～2. 3
		阿 部 武	62. 4～63. 3
		佐 生 新 武 市	63. 4～1. 5
		小 池 賢 司	1. 5～2. 3
	課長 機械調査係長	関 谷 洋 一	62. 4～63. 3
		須 田 光 俊	63. 4～2. 3
		斉 藤 栄一郎	62. 4～2. 3
北陸地方建設局道路部機械課 北陸技術事務所機械課	課長補佐	竹 島 隆 夫	62. 4～63. 3
		倉 島 冠	63. 4～2. 3
	業務第一係長	羽 賀 清 治	62. 4～1. 10
		三日月 晋 一	1. 11～2. 3
	課長	村 松 敏 光	62. 4～62. 5
		倉 島 冠	62. 5～63. 3
		上 村 弘	63. 4～2. 3
	機械調査係長	穂 刈 正 昭	62. 4～63. 3
		渡 部 敏 男	63. 4～2. 3

所 属	官 職	氏 名	担当期間
中部地方建設局道路部機械課 中部技術事務所機械課	課長補佐	中 村 邦 夫	62. 4～63. 3
		山 田 信 夫	63. 4～2. 3
	整備係長	植 村 靖	62. 4～63. 3
		阪 井 則 行	63. 4～2. 3
	課長	吉 田 正	62. 4～63. 3
		梅 田 佳 男	63. 4～2. 3
	機械調査係長	中 原 公 行	62. 4～63. 3
		宮 田 博	63. 4～2. 3
近畿地方建設局道路部機械課 近畿技術事務所機械課 材料試験課	課長補佐	池 田 敏 男	62. 4～2. 3
	課長	阿 部 重 美	62. 4～2. 3
	機械調査係長	稲 本 祥 策	62. 4～1. 3
		松 本 克 英	1. 4～2. 3
	課長	藤 原 勇	62. 4～2. 3
	材料試験第二係長	足 立 久 雄	62. 4～2. 3
中国地方建設局道路部機械課 中国技術事務所機械課 材料試験課	課長補佐	沖 田 正 臣	62. 4～63. 3
		佐々木 輝 夫	63. 4～2. 3
	整備係長	池 田 勇	62. 4～63. 3
		児 玉 浩	63. 4～1. 3
		中 村 照 行	1. 4～2. 3
	課長	橋 本 勝 美	62. 4～2. 3
	専門職	高 下 輝 久	62. 4～2. 3
	整備係長	児 玉 浩	62. 4～63. 3
		高 智 憲 三	63. 4～2. 3
	課長	宇津志 光 明	62. 4～63. 3
		永 田 瑞 穂	63. 4～2. 3
	材料試験第一係長	伊 藤 紀 夫	62. 4～63. 3
	材料試験第二係長	青 田 旭	63. 4～2. 3
四国地方建設局道路部機械課 四国技術事務所機械課	課長補佐	喜 多 良 男	62. 4～2. 3
	整備係長	尾 崎 宏 一	62. 4～2. 3
	課長	須 田 道 夫	62. 4～2. 3
九州地方建設局道路部機械課 九州技術事務所機械課	課長補佐	村 上 晃	62. 4～63. 3
		相 園 芳 光	63. 4～2. 3
	業務第一係長	甲 斐 亥 敏	62. 4～63. 4
		稲 富 公 男	63. 4～1. 6
		石 井 開	1. 7～2. 3
	課長	宅 間 義 明	62. 4～1. 10
		村 上 輝 久	1. 11～2. 3
	機械調査係長	木 村 直 紀	62. 4～2. 3

機械化施工における施工管理手法の
合理化

I S S N 0386 - 5878

土木研究所資料第2995号

平成3年3月 (1991)

杉山 篤/長 健次/村松敏光

橋本信仁/苗村正三/境 友昭

田中 賢/下坪賢一

要 旨 機械化施工において、その結果を見ながら施工することは、
施工の高度化、合理化や施工品質の向上を推進する上で重要な役割を担
っている。

土木施工の中で中心的な土工、コンクリート工、舗装工、軟弱地盤処
理工を対象に、即時的な管理、面的な管理を可能にする管理機器の開発
及び現場適応性を調査し、その運用について提言したものである。

キーワード：機械化施工、施工管理、情報化施工、管理、締固め、アス
ファルト舗装、軟弱地盤処理、コンクリート工

郵便はがき

切手をは
て下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

機械施工部機械研究室

〃 〃 〃 〃 〃 〃
施行研究室

御中

No. 01

No. 02 01

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第 2995 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

⑩

土木研究所資料第 2995 号

○