



土 木 研 究 所 資 料

第737号

舗装機械の作業性能に関する試験調査

30cm厚層セメントコンクリート舗装版の振動締固め効果について

(第2報)

昭和 47 年 3 月

建設省土木研究所

要 旨

内挿式並びに表面式振動機のついた現有のコンクリートフィニッシャによる版厚 30 cm のコンクリート版一層打ちの可能性について検討するために、コンクリート舗設試験機を用いて、コンクリート配合条件、フィニッシャの走行速度、毎分振動数をそれぞれ変化させた打設実験を土木研究所構内で行なった。また現場における打設状態を知るため舗設現場での計測も実施した。その結果、内挿式表面式両振動機とも、引張（曲げ）強度、空隙率、密度等は、ほぼ設計標準値を上まわった値が得られた。

分離に関しては表面式の方にややその徴候があらわれているが、現在施行現場（厚層 25 cm）との比較をしてもほぼ同様の結果となっており、あまり問題はないように考えられる。以上の結果、厚層 30 cm コンクリート舗設は、現在市販されている程度のフィニッシャで可能であることが明らかになった。

舗装機械の作業性能に関する試験調査

30 cm厚セメントコンクリート舗装版の振動締め固め効果について

(第2報)

機械研究室

田 中 康 之

岡 崎 治 義

門 脇 勇

目 次

1. ま え が き	1
2. 目 的	2
3. 実 験 概 要	2
3-1 実 験 装 置	2
3-2 実 験 条 件	5
3-3 実 験 場 所	5
3-4 実 験 日 程	6
3-5 実 験 手 順	7
3-6 振動加速度及び毎分振動数、走行速度の測定	7
3-7 コンクリートの配合	7
3-8 コンクリート試験	9
4. 解 析 方 法	11
4-1 引 張 強 度	11

4-2	密 度	11
4-3	空 隙 率	12
4-4	振動加速度及び振幅	12
4-5	T.D.M.	13
4-6	振動エネルギー	13
5.	実験結果及び考察	14
5-1	30cm 舗装厚の締固めについて	14
5-1-1	引張強度比	15
5-1-2	密 度	15
5-1-3	空 隙 率	17
5-1-4	各種配合コンクリートと引張強度の関係	18
5-1-5	振動機毎分振動数と引張強度比	19
5-1-6	振動加速度と引張強度比	21
5-1-7	コンクリート版横断方向の引張強度比	22
5-1-8	T.D.M. と引張強度比	24
5-1-9	振動エネルギーと引張強度比	25
5-2	コンクリートの分離	28
5-2-1	コンクリート版の深さ方向密度分布	28
5-2-2	洗い試験結果からの分離の推定	29
5-2-3	採取コア上下層引張強度からの分離の推定	32
6.	結 論	34
7.	あ と が き	35
8.	参 考 文 献	35

舗装機械の作業性能に関する試験調査

30 cm厚セメントコンクリート舗装版の振動締め固め効果について

(第2報)

機械研究室

田 中 康 之

岡 崎 治 義

門 脇 勇

目 次

1. ま え が き	1
2. 目 的	2
3. 実 験 概 要	2
3-1 実 験 装 置	2
3-2 実 験 条 件	5
3-3 実 験 場 所	5
3-4 実 験 日 程	6
3-5 実 験 手 順	7
3-6 振動加速度及び毎分振動数、走行速度の測定	7
3-7 コンクリートの配合	7
3-8 コンクリート試験	9
4. 解 析 方 法	11
4-1 引 張 強 度	11

4-2	密 度	11
4-3	空 隙 率	12
4-4	振動加速度及び振幅	12
4-5	T.D.M	13
4-6	振動エネルギー	13
5.	実験結果及び考察	14
5-1	30cm 舗装厚の締固めについて	14
5-1-1	引張強度比	15
5-1-2	密 度	15
5-1-3	空 隙 率	17
5-1-4	各種配合コンクリートと引張強度の関係	18
5-1-5	振動機毎分振動数と引張強度比	19
5-1-6	振動加速度と引張強度比	21
5-1-7	コンクリート版横断方向の引張強度比	22
5-1-8	T.D.M. と引張強度比	24
5-1-9	振動エネルギーと引張強度比	25
5-2	コンクリートの分離	28
5-2-1	コンクリート版の深さ方向密度分布	28
5-2-2	洗い試験結果からの分離の推定	29
5-2-3	採取コア上下層引張強度からの分離の推定	32
6.	結 論	34
7.	あ と が き	35
8.	参 考 文 献	35

1 ま え が き

近年セメントコンクリート（以下コンクリートという。）舗装の割合が少しずつ増加する傾向にあり、それに伴って舗装技術の改善が各所で行なわれている。土木研究所機械研究室では昭和44年度から主としてコンクリート舗装の振動締固め舗装と、表面仕上げについての研究を実施している。

コンクリート舗装版の強度を上昇させるため舗装厚を25cmから30cmにすることが現在行なわれているコンクリート舗装要綱の改訂作業の中で検討されている。そこで、現有のコンクリートフィニッシャーを用いて、版厚30cmのコンクリート版の締固めが可能か否かを実験的に調査することとなった。昭和44年度は、そのためのコンクリート舗設試験機の製作と表面式振動機を用いた締固め実験を実施し、それがほぼ可能という結論を得たが、その判定に2～3の問題が残された。45年度はその点を解明するためと、更に内挿式振動機による締固めの可能性を見出すために、内挿式及び表面式振動機による締固め実験を行なった。又、46年度は、コンフォーミングプレートを用いた場合の締固め及びその施工性について、47年度以降は表面仕上げについて研究する予定である。なお、この報告書は、45年度に実施した内挿式振動機、表面式振動機による厚層コンクリート舗設実験結果をもとにして、コンクリートの強度及び分離という観点からコンクリート版の締固めについて述べたものである。

2 目 的

現在一般に使用されているコンクリートフィニッシャの性能で、版厚 30cm の無筋コンクリートの振動締固めが可能か否かを確かめることを主目的としている。そのため、実機と性能の面ではほぼ類似したコンクリート舗設試験機を使用して、各コンクリート配合条件下及び試験機の各作業下でコンクリート打設実験を行ない、厚層コンクリート版の締固めの可能性について、主としてコンクリート版の強度並びに分離という観点から総合的に判断する。この際検討する項目としては次のようなものがある。

- (1) 引張強度（曲げ強度） 上下層の引張強度比
- (2) コンクリート密度
- (3) コンクリートの空隙率
- (4) コンクリート版内振動加速度、毎分振動数
- (5) T.D.M. 版内吸収エネルギー
- (6) 上・中・下層のモルタル、粗骨材の割合

又同時に、実際の現場におけるコンクリート舗装工事の場合と比較検討をも行なうことも目的としている。

3 実 験 概 要

3-1 実 験 装 置

コンクリート舗設試験機

本試験機は、通常の舗装工事で使用されているセットフォーム式のコンクリートフィニッシャを小型化した形のもので、ベースマシンにブレード型ファーストスクリード、振動機、フィニッシングスクリードを装備している。それと共に、コンフォーミングプレート、トレイルフォーム等も装置可能であり、スリップフォームベーパーに関する種々の試験も可能な構造となっている。また、振動機としては、表面式振動機、内挿式振動機双方交換して装着が可能な構造となっており、周波数変換器により、それぞれの毎分振動数を無段変速できる。試験機動力源は、全て 3 相 200V 商用電源を用いている。なお、本試験機の仕様詳細を表-1 に、装置全体の外観を写真-1、振動機を写真-2・3 に示す。

表 - 1 試験機仕様

型式名称	TRF-X型 コンクリート舗設試験機		
重 量	4450 Kg		
主要寸法	2486 mm × 4250 mm × 1750 mm (全幅×全長×全高)		
軸 距	2700 mm		
走行速度	0～8,635 mm/min 前後進無段変速		
ファーストスクリード	ブレードタイプ	高さ可変	
	幅	最大 1.8 m	最小 1.6 m
表面式振動機	FV-600 DHF		
	上下移動量	30 cm	
	幅	50 cm	
	振 幅 (全)	0.68 mm	
	毎分振動数	3000～6000 rpm 無段	
内挿式振動機	上下移動量	30 cm	
	取付角度	0～180°	
	有効部長さ	510 mm	
	毎分振動数	6000～10,800 rpm 無段	
フィニッシング スクリード	主要寸法	300×2400×156 mm (全幅×全長×全高)	
	重 量	233 Kg	
	昇降範囲	200 mm	
	摺動ストローク	80 mm	
	摺動回数	48回/min	
	摺動機	EV-130型 パイプロモータ2900 rpm	

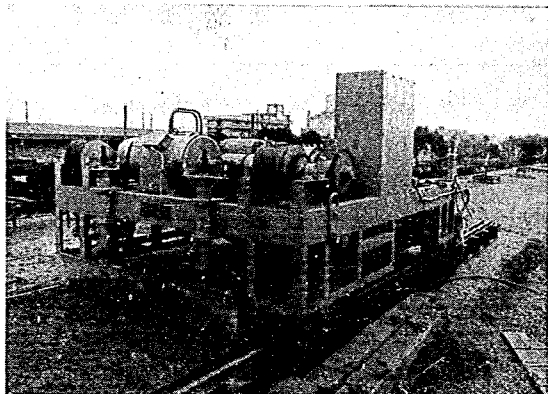


写真-1 コンクリート舗設試験機外観

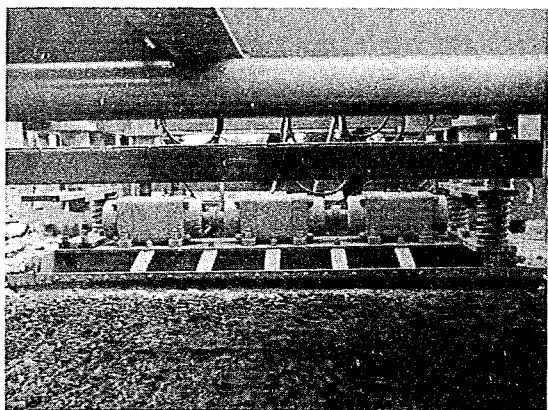


写真-2 表面式振動機



写真-3 内挿式振動機

3-2 実験条件

実験条件としては、コンクリートの配合条件、振動機の形式、及び毎分振動数、走行速度等の組合せで大きく分類し、表-2のように計6回、但し1回目を除いて各回とも、前半は走行速度 0.5 m/min 、後半は 1.0 m/min に統一した。

表-2 実験条件

回数	実験月日	振動方式	毎分振動数(r.p.m.)	作業速度(m/min)	スランプ(cm)
1	45.10.30	内挿式	6800~7200	0.5 0.5	1.6
2	45.11. 8	内挿式	6150~6750	0.5 1.0	5.9
3	45.11.17	内挿式	12000	0.5 1.0	3.6
4	45.11.26	内挿式	9000~9429	0.5 1.0	2.7
5	45.12. 5	表面式	4286~4364	0.5 1.0	8.1
6	45.12.15	表面式	4235~4364	0.5 1.0	5.4

3-3 実験場所

実験場は当土木研究所千葉支所内の建設機械性能試験コースを使用した。このコースは建設機械のけん引試験などに用いられていた砂利混りシルト土質(基盤は関東ローム)で、その上に、最大粒径 30 mm の碎石層を厚さ 10 cm にまき出し、 1.5 トン 振動ローラで転圧したものを路盤とした。その K_{30} 値は、 $20 \sim 30 (\text{Kg/cm}^2)$ である。

実験の一試験区間は、舗装幅員 1.8 m 、舗装延長 7.0 m で延べ6区間である。型枠は、現在施工現場等で使われているものとはほぼ同型の $30 \text{ cm H} \times 3 \text{ m L}$ の鋼製のものを使用した。なお、試験場の区割を図-1に示す。

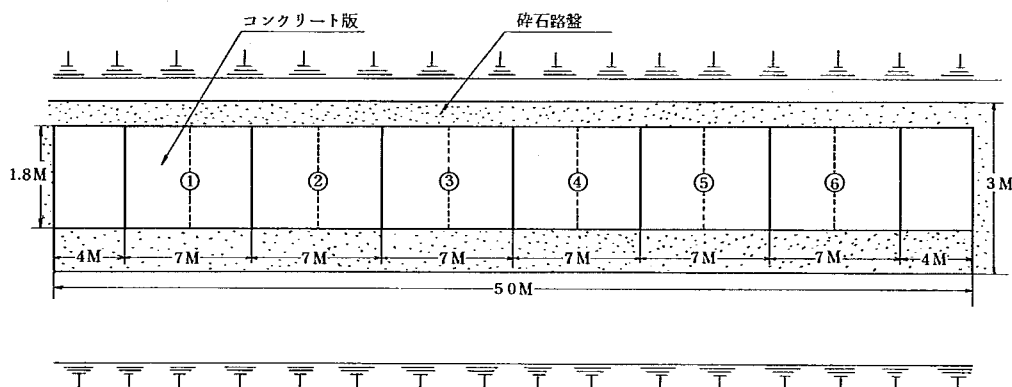


図-1 コースの区割

3-4 実験日程

実試日程は、実験の準備期間、コンクリートの養生に適した気温 20°C の時期を勘案して10月1日から準備し、本実験は、10月30日から12月15日にかけて行なった。なお、日程の詳細は表-3に示す。

表 - 3 実 験 日 程

	10 月	11 月	12 月	1 月
1				
2			第2回コアー抜	
3			↓	
4			表 4,500-1.0 0.5 m/min	
5			スライス	第5回引張試験
6		実験準備		
7	路盤造成工事	↓	第2回引張試験	
8				第6回コアー抜
9		8,000rpm 0.5 m/min		↓
10				
11			第3回コアー抜	スライス
12			↓	第6回引張試験
13				
14			スライス	
15		実験準備	表 4,500-1.0 0.5 m/min	
16		↓	第3回引張試験	
17		12,000rpm 0.5 m/min	実験場跡片付	
18			↓	密度試験用
19				スライス
20		第1回コアー抜		
21		↓	第4回コアー抜	
22			↓	
23			スライス	
24		実験準備	第4回引張試験	
25		スライス	第5回コアー抜	乾燥炉投入
26		12,000rpm 0.5 m/min	↓	
27		第1回引張試験		
28	実験準備			密度試験
29				
30	8,000rpm - 0.5 m/min			
31				

3-5 実験手順

実験手順は、大きく、実験準備→本実験→試料採取→コンクリート試験の順序で行なった。なお詳細の手順については、図-2に示すとおりである。

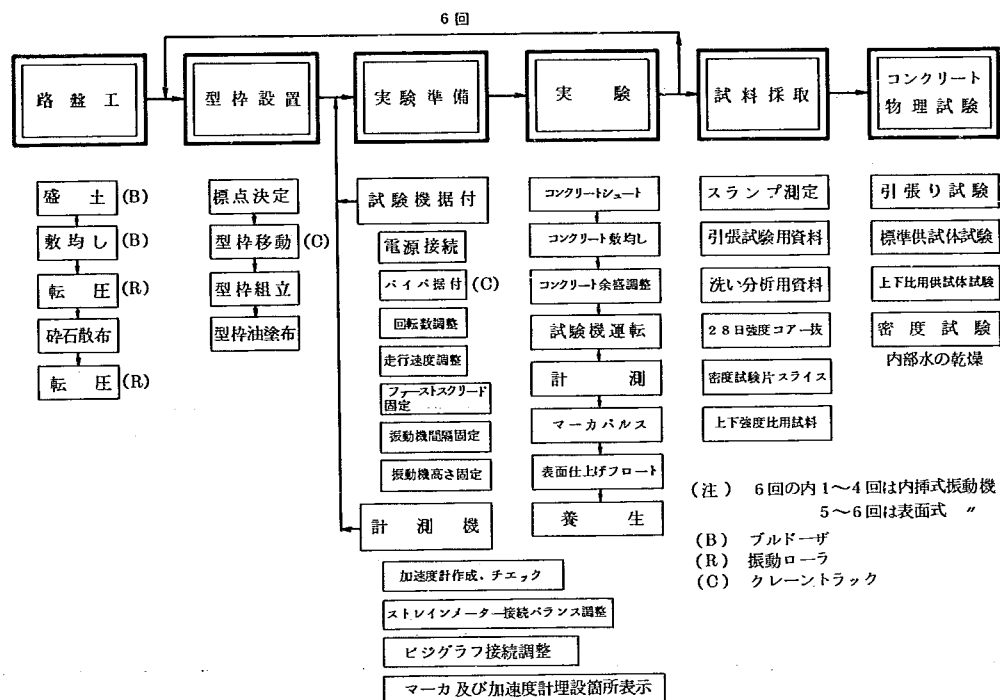


図-2 実験手順ブロックダイアグラム

3-6 振動加速度及び毎分振動数、走行速度の測定

コンクリート版内振動加速度測定は、振動機本体の振動加速度、毎分振動数、コンクリート版内振動伝播状況を知るために行なうもので、振動加速度ピックアップの埋設位置を図-3に示す。また、加速度計は共和電業社製の動歪形加速度変換器AC型、ストレインメータは共和電業社製DPM-6CT、記録計は直記式オシログラフ(三栄測器社製ビジグラフFR-102形)を使用した。試験機の走行速度は試験機の走行に応じた距離パルスを記録計に入れて計測した。

3-7 コンクリートの配合

コンクリート配合条件は、スランプ1.5cmと4.0cmの2種類を設計した。このコンクリートの粗骨材最大寸法は40mm、設計基準曲げ強度は45(Kg/cm^2)で、AE剤なしの生コンクリートを用いた。なお、試験用コンクリートの示方配合を表-4に、骨材の通過百分率を図-4に示す。

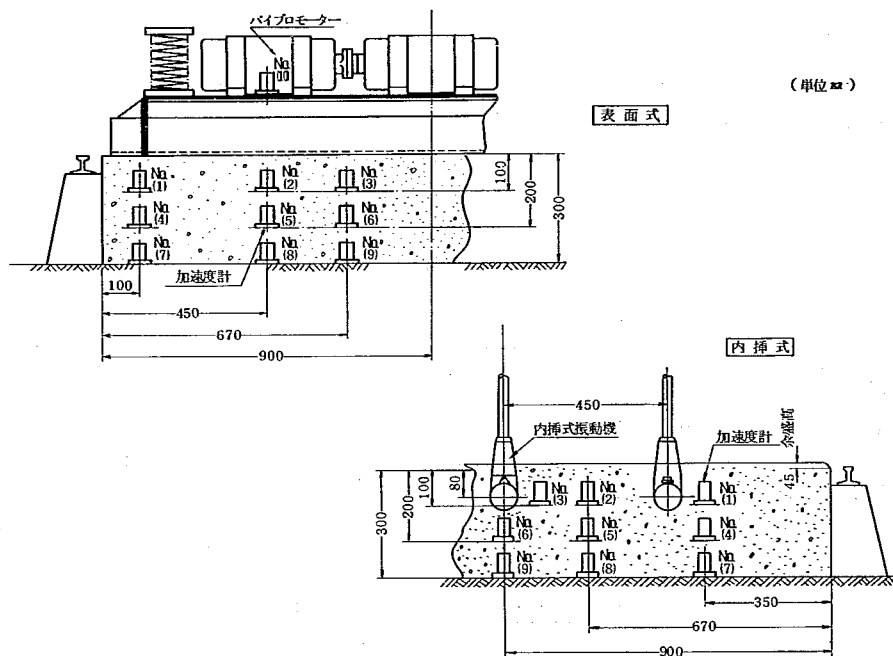


図 - 3 加速度計設置位置

表 - 4 スランプ 1.5 ± 1 cm の示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	単位水量 W (Kg)	単 セメント 量 C (Kg)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 細骨材量 (Kg)	単 位 細骨材量 (Kg)
40	1.5 ± 1	143	318	45.0	35.6	707	1291

スランプ 4.0 cm の示方配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	単位水量 W (Kg)	単 セメント 量 C (Kg)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単 位 細骨材量 (Kg)	単 位 細骨材量 (Kg)
40	4.0	149	331	45.0	38.3	752	1219

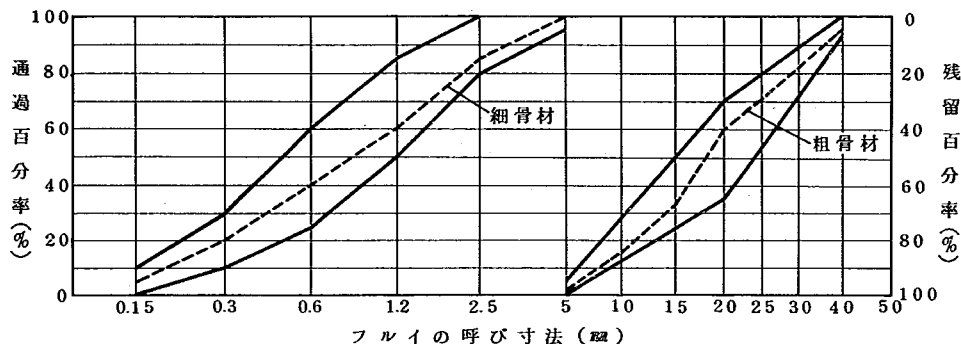


図-4 細骨材・粗骨材の通過及び残留百分率

3-8 コンクリート試験

3-8-1 固まらないコンクリートの試験

未だ固まらないコンクリートの試験は、洗い試験とスランプ試験を実施した。

スランプ試験は、JIS・A 1101に準じて行なった。(写真-4参照) 洗い試験は、JIS・A 1103にもとづいて行ない、試料の採取は、コンクリートをダンプトラックから打設箇所にダンブする際に、その山の中から全体を代表した試料として1点、又、舗設試験機打設直後、コンクリート版上層、中層、下層から各1点ずつ、計4点を対象とした。

3-8-2 硬化コンクリートの資料採取

一方、硬化後のコンクリートの試験としては、コンクリート打設と同時に作成した5個の標準供試体と、コア採取機(日建機械社製 150 mm ϕ $\times$ 300 mm コア採取用 3 PS 真空給水ポンプ付、吸着板付)よりコンクリート版の定位置から採取した供試体とを、それぞれ引張試験した。また、採取供試体は、振動加速度及び上下の締め進行状況、分離等を判断させるために、コンクリート版を上・下層二つに分割し、それぞれ試験を行なった。又、更に密度試験を行なった。

3-8-2-1

コンクリート引張強度試験については、JIS・A 1113に準じて行なった。その実験略図を図-5、写真-5に示す。供試体と加圧板との間隙があると局部破壊を



写真-4 コンクリートスランプ試験

起こし、精度がおちる。これを防止するため、供試体と加圧板の間に、厚さ 1.5 mm、幅 5 mm、長さ 33 cm のベニア板をはさんだ。（写真－5 参照）

試料としての供試体は最大粗骨材として 40 mm を採用したため、直径 15 cm ϕ 、高さ 30 cm のもの、（上・下強度比をみるためにこの半分のもの、15 cm ϕ $\times$ 15 cm H を用意した。材令としては、一般に広く採用されている 28 日強度をとった。なお、引張試験機は、アムスラーの万能試験機を使用した。コンクリートの強度として曲げ強度をとったが、これは、コンクリート舗装版が、車輛による曲げ破壊を起し易いためである。

実験にあたっては、強度として曲げ強度をとるべきであったが、曲げ供試体の採取が困難なこと、コンクリートの圧裂試験による引張強度で、曲げ強度が求められる、などの理由で、圧裂による引張強度を行なった。

3-8-2-2 密度試験

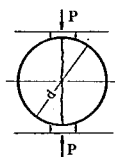
コンクリート版の締固め度を判定するために、又深さ方向の締固め進行状況及び分離をみるため、コンクリート版より採取した供試体、15 cm ϕ $\times$ 30 cm H を上層より 5 cm 刻みで切断し、それぞれの密度及び全体の密度を測定した。

3-9 倉賀野バイパスの実験

振動機及びコンクリート舗設機の施工条件は、内挿式振動機では毎分振動数 9000 rpm $\sim$ 9500 rpm 走行速度 2.0 m/min 表面式振動機では毎分振動数 4054 rpm $\sim$ 4125 rpm、走行速度 0.62 m/min で版厚は 30 cm である。測定対象は、走行速度、毎分振動数、振動加速度で、

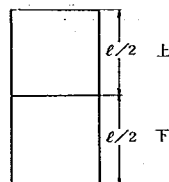
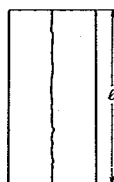
引張強度（圧裂強度）

$$\sigma_t = 2P/\pi d \ell$$

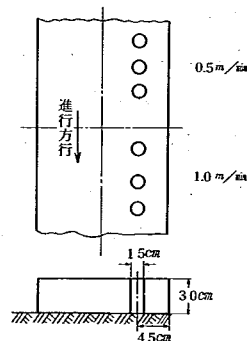


P : 最大押付荷重
d : 供試体の直径
 ℓ : 供試体の長さ

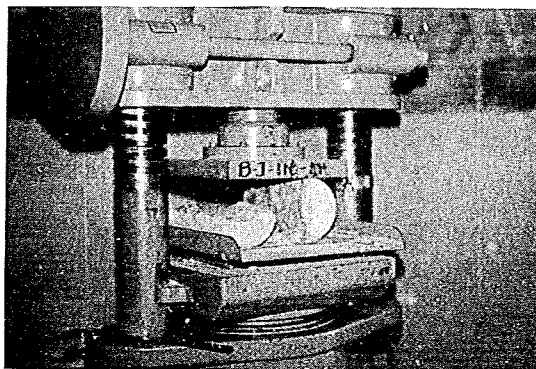
JIS A 1113 コンクリートの引張強度試験



引張試験用供試体採取位置



図－5 引張強度試験



写真－5 コンクリート引張強度試験（圧裂試験）

測定方法に関しては土研と同様である。

4 解析方法

4-1 引張強度

JIS・A1113 に規定されている引張強度は、円柱供試体を横にして、上下から平らな加圧板で一様に加圧（圧裂強度）し、次式を用いて引張強度 σ_t (Kg/cm^2) を求めるようになっている。

$$\sigma_t = (2P/\pi d\ell) \times 1000 \quad (1)$$

σ_t : 引張強度 (Kg/cm^2)

P : 試験機が示す最大荷量 (t)

d : 供試体直径 (cm)

ℓ : 供試体の長さ (cm)

コンクリート工学ハンドブック⁽¹⁾によれば、コンクリートの引張強度 σ_t (Kg/cm^2) と、曲げ強度 σ_b (Kg/cm^2) との間には、図-6 のように、かなり正確な相関があり、一般にその相関式は

$$\sigma_t = \sigma_b - 16.5 \quad (2)$$

である。

今、コンクリート設計条件として、曲げ $\sigma_b = 45 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ を採ったが、その引張強度 σ_t は、

$$\sigma_t = 28.5 \text{ Kg}/\text{cm}^2 \quad \text{である。}$$

4-2 密度

コンクリート密度 r (g/cm^3) は、

$$r = W_a / (W_a - W_w) \quad (3)$$

$\left\{ \begin{array}{l} W_a : \text{供試体空中重量 } g \\ W_w : \text{供試体水中重量 } g \end{array} \right.$

理論最大密度 r_0 は、コンクリート配合条件から、空隙 0 の場合の密度を算出したもので、スランプ 1.5 cm の場合は、

$$\begin{aligned} r_0 &= 140 + 315 + 676 + 1348 = 2479 \text{ (Kg}/\text{m}^3\text{)} \\ &= 2479 \text{ (g}/\text{cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

スランプ 4.0 の場合は、

$$\begin{aligned} r_0 &= 149 + 331 + 752 + 1219 = 2451 \text{ (Kg}/\text{m}^3\text{)} \\ &= 2451 \text{ (g}/\text{cm}^3\text{)} \end{aligned}$$

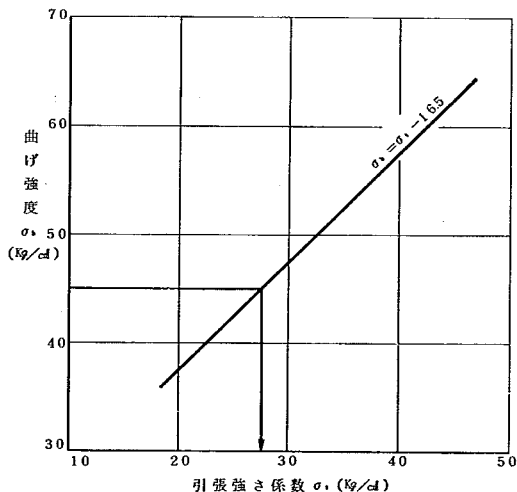


図-6 引張強度と曲げ強度の関係

4-3 空隙率

コンクリートの締固めを判断する方法として、コンクリート版内の空隙量があげられる。ここでは、コンクリート版から採取したコア断面の内 $95\text{mm} \times 60\text{mm}$ を写真(写真-6)にとり、拡大し

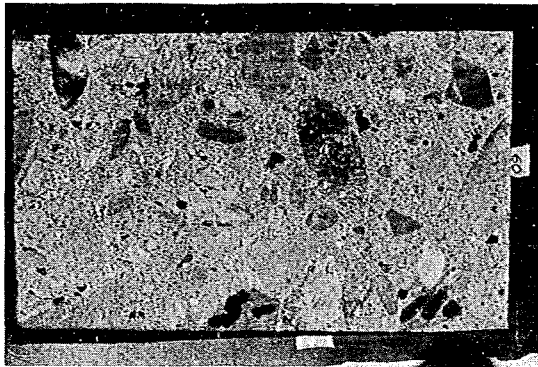


写真-6 コンクリート版コア断面

セクションペーパーをあててその面積を測定した。空隙率とは、コアの気泡面積の全断面積に対する比(面積比)をもって定義した。従って気泡面積を $s(\text{cm}^2)$ 、測定対象全断面積 $S(\text{cm}^2)$ とすると、空隙率(面積比) K_s は、

$$K_s = s/S \quad (4)$$

一方、空隙率(体積比) K_v は、

$$K_v = (s/S)^{\frac{3}{2}} = (K_s)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

なお、ここでは各層毎の空隙率を対比することを目的としたため、面積比による空隙率 K_s を採用した。

4-4 振動加速度及び振幅

表面式、内挿式振動機により与えられた振動加速度は、コンクリート内部に伝播し減衰する。振動機は双方共、アンバランスマスを回転させることにより、偏心モーメントを生じさせ、振動を発生さ

せている。従って振動は正弦運動として取扱うと、一般に変位 X は次式のようなになる。なお、正弦運動をしていることは、図-7の加速度測定結果より明らかである。

$$X = a \sin 2\pi n t \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

X : 変位 (mm)

a : 振幅 (mm)

n : 毎秒振動数 (rps), $f = 60n(\text{rpm})$

t : 時間 (sec)

従って振動加速度 $\ddot{x}$ は

$$\ddot{x} = -4\pi^2 n^2 a \sin 2\pi n t \quad (\text{mm/sec}^2) \quad (7)$$

となる。又、最大加速度 $(\ddot{x})_{\text{max}}$ は

$$(\ddot{x})_{\text{max}} = 4\pi^2 n^2 a = 4\pi^2 N^2 a / 60^2 \quad (8)$$

ここで $(\ddot{x})_{\text{max}} = a$ を測定により求め、振幅 a を計算すると、

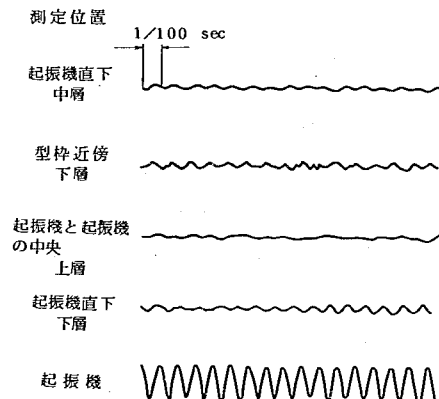


図-7 加速度波形

$$a = 900 \alpha / \pi^2 f^2 = 8.945 \times 10^5 \alpha' / f^2 \text{ (mm)} \quad (9)$$

α : 測定最大加速度 (cm/sec²)

α' : 測定最大加速度 (G)

4-5 T.D.M. (Total Downward Movement)

表面式振動機の底幅、走行速度、毎分振動数、振幅を加味した振動機の施工条件(機械的)を与える指数として、Total Downward Movement⁽⁵⁾を考える。

$$T.D.M. = B \times f \times a / V \text{ (cm)} \quad (10)$$

V : 表面式振動機の走行速度 (cm/min)

f : 毎分振動数 (rpm)

a : 振 幅 (cm)

B : 表面式振動機の底幅 (cm)

ここで、表面式振動機が、一点を通過するに要する時間 T は、 $T = B / V$ (min) (11)

また、上記時間の全振動数は

$$(B / V) \times f \quad (12)$$

となる。従って振動機のコンクリート版に与える下向き総運動量は、

$$(B / V) \times f \times a \equiv T.D.M. \quad (13)$$

で、これをもって $T.D.M.$ とする。この $T.D.M.$ は数種類の振動条件で締固めを行なった時に与えた合計エネルギー量を示す一種の指数と考えられる。

4-6 振 動 エ ネ ル ギ

振動機によりコンクリート版に与えられたエネルギーは、生コンクリート各部に振動を与え、運動エネルギー又は熱エネルギーに変換させ、路盤に消散させる。今、コンクリート版内任意の1点に振動機から与えられたエネルギーを、車速 V と加速度 α から求める。実験より測定した振動加速度の進行距離方向の分布(図-8)及び車速より計算する。加速度 α は変位 x の関数であり、

$$\alpha = f(x) \quad (14)$$

従って質量 M に与えられる振動エネルギー E は次式のようになる。

$$E = \frac{1}{2} M \left(\int_{x_1}^{x_2} \alpha dx \right)^2$$

$$\cong \frac{M}{2} \left[\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \dots + \alpha_n^2 \right] (\Delta X)^2 \quad (15)$$

となる。ここで、コンクリート版内での質量 M は均一とみなせるから、上式は、

$$E/M = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=0}^n \alpha_i^2 \right) (\Delta X)^2 \quad (16)$$

E/M : 単位質量当りのエネルギー (m²/sec²)

となる。

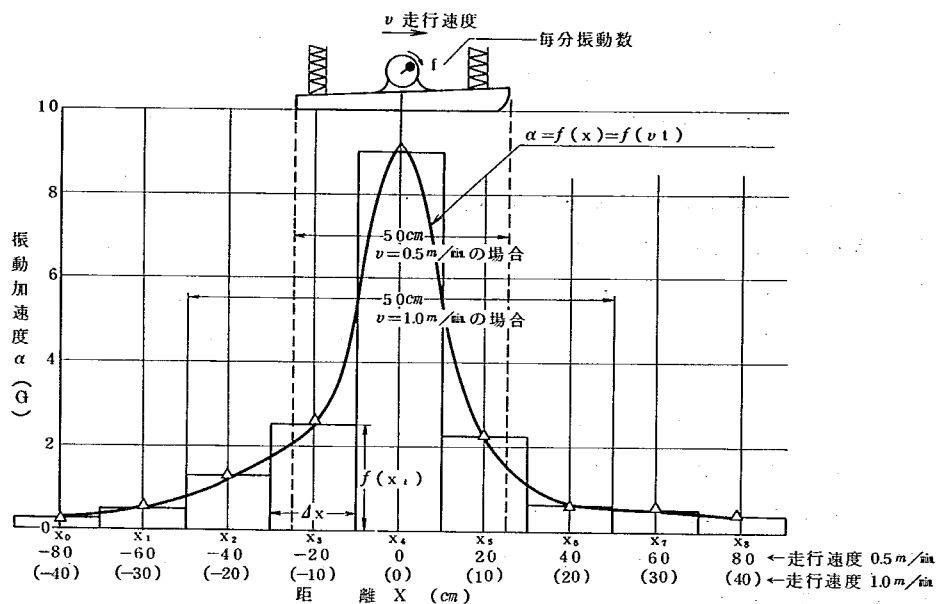


図-8 エネルギー量の図式算出法

5. 実験結果及び考察

コンクリートの振動締固め並びに分離という観点から、実験結果について考察する。コンクリートの締固め強度を増加させる有力な手段の一つとして、振動機による締固めがあげられ、コンクリート工学ハンドブック⁽¹⁾等にも、振動の効果について述べられている。一般に、まだ固まらないコンクリートは粗骨材、細骨材、セメント、水を含んだ混合物であり、その挙動は粘弾性的性質を有している。従って、これに振動を与えると、コンクリート内部摩擦係数が減少し、一層流動化を呈してきて、空隙が閉塞されると考えられている。一方、まだ固まらないコンクリートに振動を与えると、コンクリートの分離という好ましくない現象を生ずる恐れもある。すなわち、モルタルの流動化により、コンクリート版上方にモルタル分が浮いてきてしまう。これについては、コンクリートの配合条件（スランプ、単位セメント量、粗骨材料）並びに振動機の種類（内挿式、表面式）等の因子に大きく影響されると考えられる。以下これら（締固め、分離）の2点について考察を行なう。

5-1 30cm 舗装厚の締固めについて

コンクリート版の振動締固めに関し、コンクリート版の締固め度とコンクリート版内から採取したテストピースの引張強度、密度、コンクリートの洗い試験結果、空隙率、T.D.M 吸収エネルギーなどから検討する。

5-1-1 引張強度比

振動機、走行速度、コンクリート配合の各種実験条件毎の引張強度の値を表-5に示す。標準供試体の引張強度については最低で、 24.3 Kg/cm^2 、最高で 33.2 Kg/cm^2 であり、平均 30.1 Kg/cm^2 になっている。これは曲げ強度 47.5 Kg/cm^2 に相当し、初めの設計曲げ強度 45 Kg/cm^2 をはるかに上回っている。コンクリート版から採取したコアは、各条件毎に3本ずつとったが、引張強度には多少のバラツキが認められた。又、表-6における()内は引張強度比を示している。内挿式振動機の7条件の平均引張強度比は1.10、最大で、1.18、最小でも1.02で、標準供試体よりも約10%程大きく、引張強度に関しては、一応満足できると認められる。

表面式振動機の場合、4条件の平均引張強度比は、1.06、最大で1.20、最小で0.94であり、内挿式に比べてわずかに小さい値になっている。しかし、両振動機共、引張強度に関しては、一応標準供試体以上に締固まっていることが認められた。

表-5 舗装版引張強度比

振動機	走行速度	Co条件	標準供試体引張強度 Kg/cm^2	採取コア引張強度 Kg/cm^2			平均 Kg/cm^2
内挿式	6800	スランプ	29.6	32.2 (1.09)	34.7 (1.17)	37.5 (1.27)	34.8 (1.18)
	7200	1.6cm					
内挿式	6150	0.5 m/min "	24.3	22.6 (0.93)	28.8 (1.19)	23.5 (0.97)	25.0 (1.03)
	6750	1.0 m/min 5.9cm	24.3	27.6 (1.14)	26.9 (1.11)	28.5 (1.17)	27.7 (1.14)
内挿式 12000	0.5 m/min "	3.6cm	33.2	39.6 (1.19)	31.5 (0.95)	30.2 (0.91)	33.8 (1.02)
	1.0 m/min		33.2	38.8 (1.17)	34.2 (1.03)	31.0 (0.93)	34.7 (1.05)
内挿式	9000	0.5 m/min "	32.3	28.9 (0.89)	30.4 (0.94)	44.0 (1.36)	34.4 (1.07)
	9429	1.0 m/min 2.7cm	32.3	32.6 (1.01)	38.0 (1.18)	43.4 (1.34)	38.0 (1.18)
表面式	4286	0.5 m/min "	32.5	34.9 (1.07)	20.6 (0.63)	36.7 (1.13)	30.7 (0.94)
	4364	1.0 m/min 8.1cm	32.5	29.2 (0.90)	32.7 (1.01)	32.9 (1.01)	31.6 (0.97)
表面式	4235	0.5 m/min "	28.9	35.1 (1.21)	34.1 (1.18)	34.9 (1.21)	34.7 (1.20)
	4364	1.0 m/min 5.4cm	28.9	36.9 (1.28)	26.4 (0.91)	33.2 (1.15)	32.2 (1.11)

()内は、引張強度比を表わす。

5-1-2 密度

締固め度を検討するもう1つの尺度として、コンクリート版の密度がある。各実験条件での密度の値の一覧表を表-6に示す。ここでコンクリート配合設計から計算した理論最大密度は、

スランブ 1.5 cm で 2.479 (g/cm^3)、スランブ 4.0 cm で 2.450 (g/cm^3) である。内挿式の密度の平均値は 2.335 (g/cm^3)、表面式の平均値は 2.377 (g/cm^3) であり、理論最大密度に対する密度比は、内挿式で 0.948 表面式で 0.970 である。

表 - 6 コ ン ク リ ー ト 密 度

振動機	毎分振動数	走行速度	Co条件	理論最大密度 g/cm^3	採取コア密度 g/cm^3			平均 g/cm^3	各振動機毎の平均
内挿式	6800 rpm 7200	0.5 m/min	スランブ 1.6 cm	2.479	2.363	2.372	2.354	2.363 (0.953)	
内挿式	6150 6750	0.5 m/min 1.0 m/min	" 5.9 cm	2.450	2.308 2.198	2.306 2.253	2.330 2.228	2.315 (0.945) 2.226 (0.908)	2.335 ()内の mean
内挿式(12000)		0.5 m/min 1.0 m/min	" 3.6 cm	2.450	2.382 2.383	2.384 2.322	2.403 2.270	2.390 (0.975) 2.325 (0.949)	
内挿式	9000 9249	0.5 m/min 1.0 m/min	" 2.7 cm	2.479	2.401 2.416	2.322 2.385	2.336 2.325	2.353 (0.949) 2.375 (0.958)	
表面式	4286 4364	0.5 m/min 1.0 m/min	" 8.1 cm	2.450	2.357 2.378	2.377 2.364	2.381 2.378	2.372 (0.968) 2.373 (0.968)	2.377 ()内の mean 0.970
表面式	4235 4364	0.5 m/min 1.0 m/min	" 5.4 cm	2.450	2.361 2.391	2.387 2.374	2.393 2.381	2.380 (0.971) 2.383 (0.973)	

() 内は理論最大密度に対する割合

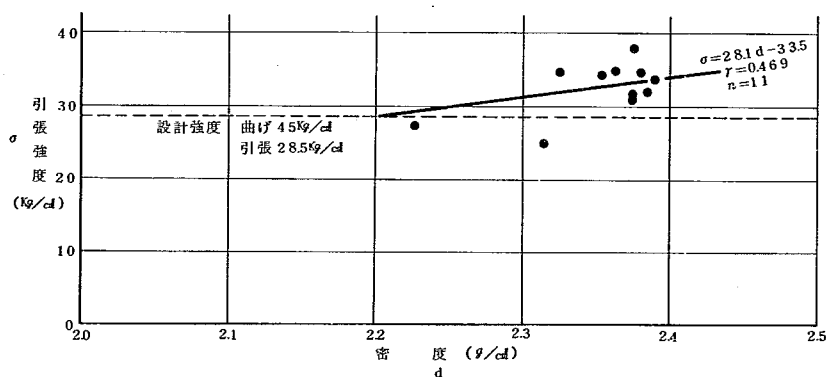


図 - 9 密度と引張強度との関係

一般に密度の絶対値そのものでは、一概に締固めの可能性を断定できかねるので、密度の絶対値と引張強度の相関関係から検討してみる。測定された密度 d (g/cm^3) と引張強度 σ (Kg/cm^2) の関係を図-9のとおりである。 d の範囲が狭いので正確さは不足するが、相関係数 $r = 0.47$ であり、相関式は、 $\sigma = 28.1 d - 33.5$ である。

コンクリートの設計強度曲げ 45 (Kg/cm^2) に相当する密度は 2.30 (g/cm^3) となり、従って両振動機共、密度からみても充分締固められていると判断できる。

5-1-3 空隙率

コンクリートの締固めを判断するもう一つの方法として、コンクリート版内の空隙率を考察する。版内の各位置における空隙率を図-10に示す。これによると、内挿式においては下層に空隙が多く、その値は、 1.0% 程度であるが、スランプ条件の変化による差異は少ない。一方、表面式の場合は、 8.1cm のスランプで、上層・下層共振動機走行速度の変化にも拘らず、空隙率はほぼ一定値 $0.4 \sim 0.6\%$ と小さい値を呈しているが、スランプが 5.4cm となると、空隙が $1.0 \sim 1.5\%$ と大きくなる。

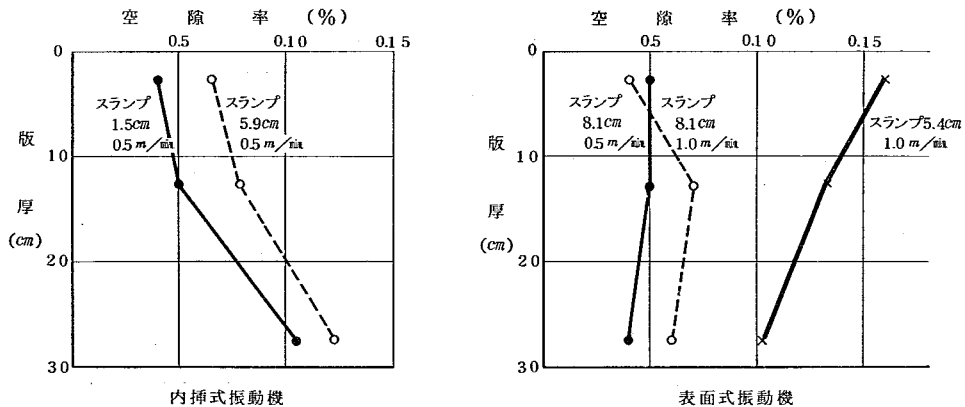


図-10 版厚方向の空隙率分布

空隙率の大きさによる締固め度を判断するために、空隙率 $\kappa\%$ と引張強度 σ (Kg/cm^2) との関係を図-11に示す。ここで空隙率 κ の値として、コンクリート版の上、中、下層の平均値をとっている。

相関係数 $r = 0.70$ ($n = 6$) であり、相関式は、

$$\sigma = -2.02\kappa + 32.29$$

で、空隙率 κ の増加に対して、引張強度 σ は減少していることがわかる。図-11において設計曲げ強度 $45 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ (引張強度 $28.5 \text{ Kg}/\text{cm}^2$) での限界空隙率 κ の値は、

$$\kappa = 1.88 (\%) \text{ である。}$$

従って空隙率としては、 1.88% 以下におさえなければならない。

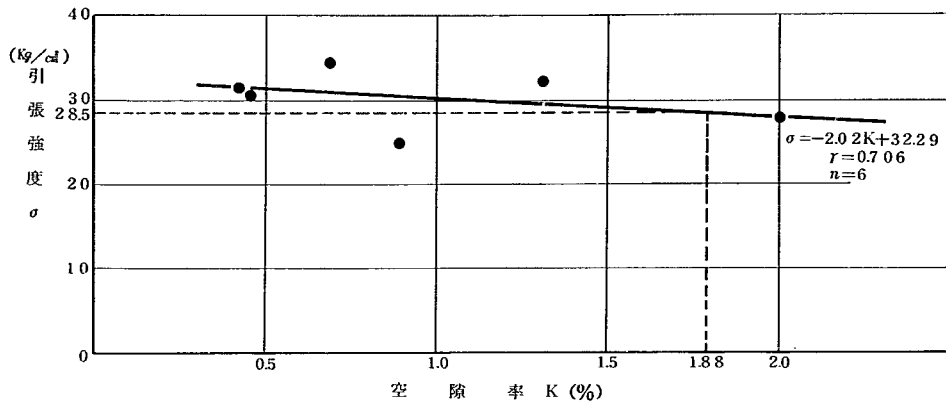


図-11 空隙率と引張強度の関係

5-1-4 各種配合コンクリートと引張強度の関係

振動締め固めを行なう場合各種コンクリート配合条件が引張強度に及ぼす影響を見ると、図-12に示すようになっている。ここで、走行速度 0.5 m/min 、 1.0 m/min の双方共、又、内挿式振動機、表面式振動機をとわず、スランプの増加に伴ない、幾分引張強度比は減少していることがわかる。この理由としては、スランプの大きいコンクリートに試験機のもつ強力な起振機による振動をかけた場合は標準供試体の場合に比べよりコンクリートの分離が発生し易くなるためと思われる。

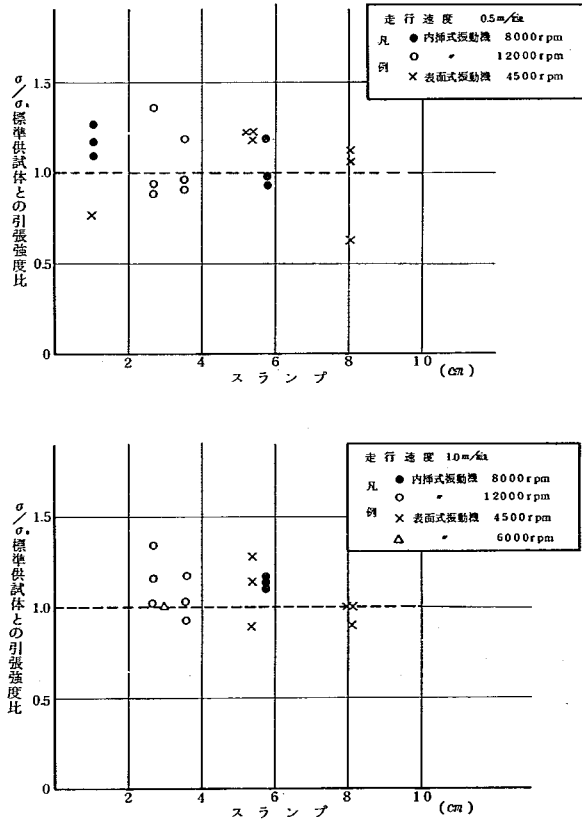


図-12 コンクリート配合条件が引張強度に及ぼす影響

る。従って厚層コンクリート舗装の場合は、施工に障害を起さぬかぎり、比較的小さいスランプのコンクリートを使用した方がよいといえる。

5-1-5 振動機毎分振動数と引張強度比

毎分振動数 f (rpm) と引張強度比 σ/σ_0 との関係を図-13のグラフに示す。

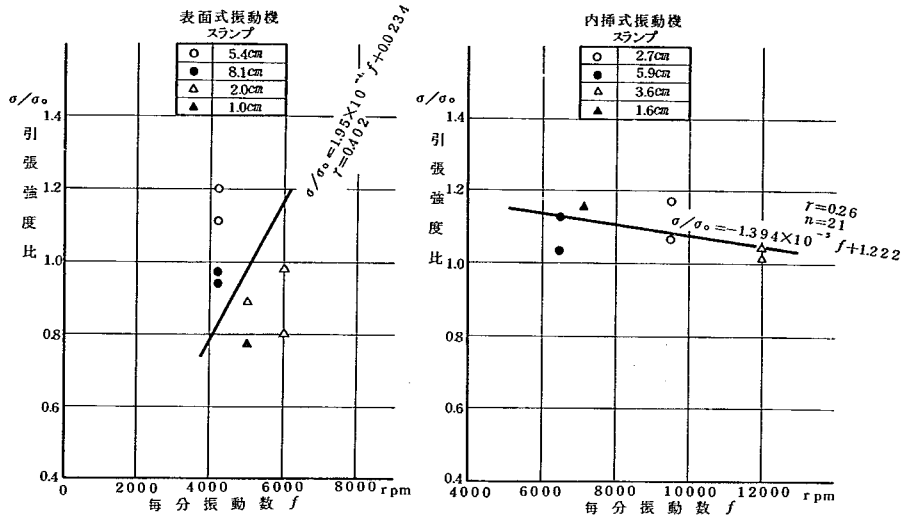


図-13 毎分振動数と引張強度比の関係

両振動機共、同一施工条件の場合でも、各々の引張強度比には、幾分(最大2.04)差がでてゐるが、毎分振動数 f と引張強度比 σ/σ_0 の関係は、表面振動機では、

$$\sigma/\sigma_0 = 1.95 \times 10^{-4} f + 0.0234 \quad r = 0.40$$

で、内挿式振動機では、

$$\sigma/\sigma_0 = -1.39 \times 10^{-5} f + 1.222 \quad r = 0.26$$

である。双方共相関係数が小さく有意水準に達していないが、表面式振動機の場合は、毎分振動数の増加に対して大きく増加する傾向が見出せる。内挿式振動機の場合は、毎分振動数の大きさにも拘らず、ほぼ一定ないしやや下り加減となっていることがわかる。実験は、振動機の偏心モーメント量を一定にして行なっており、従って、振動数の増加は即ち振動加速度の増加となる。このことに関して、内挿式振動機を空転で振動させた場合、及び生コンクリート版内で振動させた場合の振動数と振動加速度について示したグラフを書くと、図-14、図-15のとおりである。図-13は、空転での毎分振動数と振動加速度の関係を表わすもので、加速度特性曲線は、

$$a = 7.81 \times 10^{-7} f^2 \quad n = 19$$

α : 振動加速度 (G)

f : 毎分振動数 (rpm)

で、バラツキが非常に小さい。

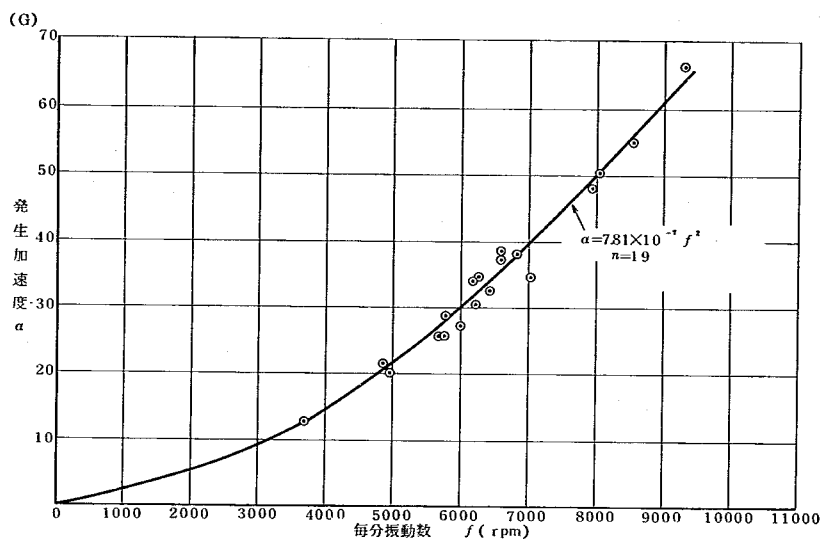


図-14 内挿式振動機空転加速度特性曲線

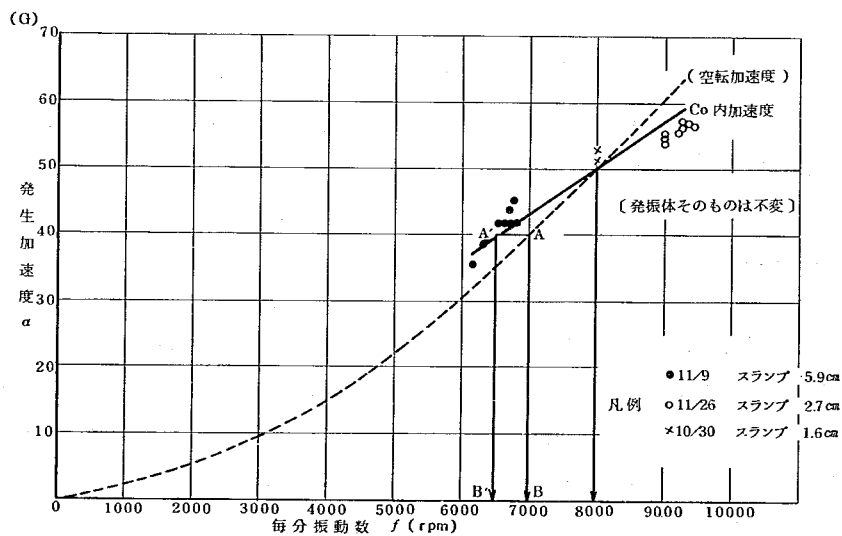


図-15 内挿式振動機コンクリート版内加速度特性

一方、生コンクリート版内で振動させた場合の加速度と毎分振動数は、空転時よりもやや勾配がなだらかになっていることが認められる。この理由として起振機を支持する懸架バネの振動特性や生コンクリートの動特性による影響が考えられる。内挿式振動機の場合は、6000rpmから、12000rpmの範囲では、殆んど強度上問題ないといえる。

5-1-6 振動加速度と引張強度比

振動機により与えられた振動による、生コンクリート版内の振動加速度 α (G)と、硬化後のコンクリート引張強度比 σ/σ_0 との関係を見ると、図-16のようになる。

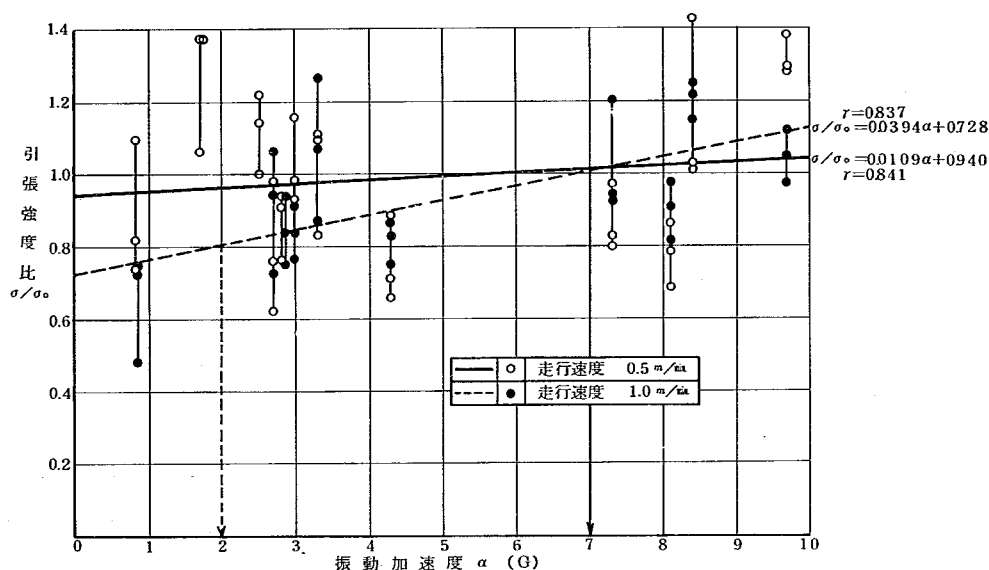


図-16 振動加速度と引張強度比の関係

ここで、加速度 α と引張強度比 σ/σ_0 の相関式は、試験機の走行速度別に分けると、走行速度 $v = 0.5 \text{ m/min}$ の場合は、相関係数 $r = 0.84$ で、

$$\sigma/\sigma_0 = 0.0109\alpha + 0.940$$

一方 $v = 1.0 \text{ m/min}$ では、相関係数 $r = 0.84$ で、

$$\sigma/\sigma_0 = 0.0394\alpha + 0.728 \text{ である。}$$

双方共、相関式の勾配はあまりきつなく、加速度の大きさにはそれほど影響されない。走行速度 $v = 0.5 \text{ m/min}$ の場合は特にその傾向が強い。走行速度 $v = 1.0 \text{ m/min}$ の場合は、幾分加速度の影響が見られ、加速度7G、引張強度比1.0の点で走行速度 0.5 m/min の場合と一致している。これは、締固めが、単に振動加速度の大きさだけでなく、振動エネルギー量に関係しているためと考え

られる。すなわち、加速度がやゝ小さい場合でも、時間的に長く振動をかけることにより、締固めが進行することを示している。なお、エネルギーとの関係は後述する。

表 7 測定加速度

単位G

測定場所	振動機型式	毎分振動数	走行速度	Co 条件	上 層			中 層			下 層			振動機
					型 枠 近 傍	振動機 中 間	振動機 直 下	型 枠 近 傍	振動機 中 間	振動機 直 下	型 枠 近 傍	振動機 中 間	振動機 直 下	
土木研究所 (機械研)	内挿式	6800 rpm ∧ 7200	0.5 m/s ²	スランプ 1.6 cm	2.1	—	1.7	0.9	—	—	1.1	1.5	2.6	57.6
	内挿式	6150 ∧ 6750	0.5 m/s ²	" 5.9 cm	3.8	4.1	3.0	2.7	5.0	9.7	1.5	5.0	3.4	45.1
	内挿式	(12000)	0.5 m/s ²	" 3.6 cm	0.2	—	2.7	7.2	8.5	7.3	3.2	8.6	3.4	—
	内挿式	9000 ∧ 9429	0.5 m/s ²	" 2.7 cm	6.7	3.7	2.8	9.7	5.2	8.4	2.4	10.6	4.8	56.8
	表面式	4286 ∧ 4364	0.5 m/s ²	" 8.1 cm	1.4	0.8	6.2	—	4.3	4.3	2.8	4.8	3.0	21.2
	表面式	4235 ∧ 4364	0.5 m/s ²	" 5.4 cm	4.0	8.1	—	2.7	3.3	8.9	—	—	3.3	6.7
倉賀野パイパス	内挿式	9000 ∧ 9500	2.0 m/s ²		7.3	3.8	14.1	5.6	1.4	7.9	3.2	2.3	1.4	98.1
	表面式	4054 ∧ 4125	0.62 m/s ²		3.5	4.8	4.8	1.0	3.1	6.8	1.3	1.7	1.6	18.8

又、引張強度比の最低限界値を0.8とすると、少なくとも2G以上の加速度が必要になる。本実験で測定した振動加速度を表7に示す。同表には、実際の現場として倉賀野パイパス工事現場で測定した加速度も示してある。両方共、型枠の近傍を除いては、最低でも1.5G程あり、土研の場合、上層の加速度は平均3.4G、中層の加速度は5.2Gで最大であり、下層でも3.8Gと、かなり大きな加速度となっている。一方、倉賀野の場合は、上層で平均6.4G、中層で4.3G、下層で1.9G程度になっている。ここで、下層の加速度が土研と比べて小さい値になっており、前記引張強度比0.8の限界値に対応する加速度2Gにやゝ不足することになる。土研内での実験では、厚層30cm一層締固めでもこの限界値を十分上まわっており、振動加速度に関しては、現在の試験機程度の性能があれば十分と考えられる。

5-1-7 コンクリート版横断方向の引張強度比

表面式振動機を使った場合のコンクリート版横断方向の引張強度比をみると、図-17に示すようになっている。この図から、引張強度比はパイプロモータの直下で、1.0~1.2で最大であり、端部及びフランジ部分で0.8程度でやゝ低い値になっている。また、コンクリート版内横断面の振動加速度の分布状態は、図-17、図-18、図-19に示す。これは、スランプ5.4cmのコンクリー

トを毎分振動数4300rpmの表面式振動機を使って締固めた場合の振動加速度分布である。加速度は、パイプロモータの直下で最大(中層で8.9G)になっており、型枠寄り及びフランジ部は小さい値(中層で3.2G、2.7G)になっていることが分る。図-17~18の加速度分布の結果から見ると、両振動機共、型枠の近傍の下層では振動加速度がやゝ不足することが判明し、別なバイブレータなどで処理する必要があると考えられる。なおまた現在市販されている舗設機械と試験機の振動機種類、毎分振動数、振幅、出力、振動機の間隔について対比させたものを表-8に示す。

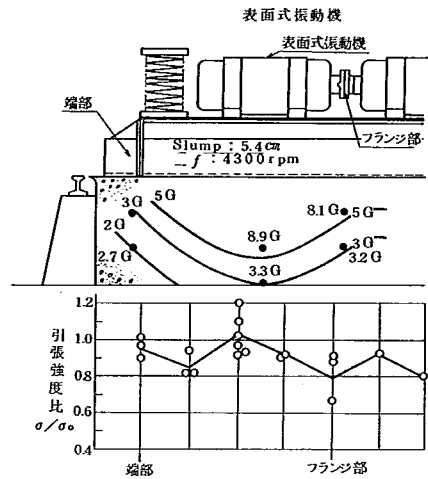


図-17 コンクリート版横断面引張強度比と加速度

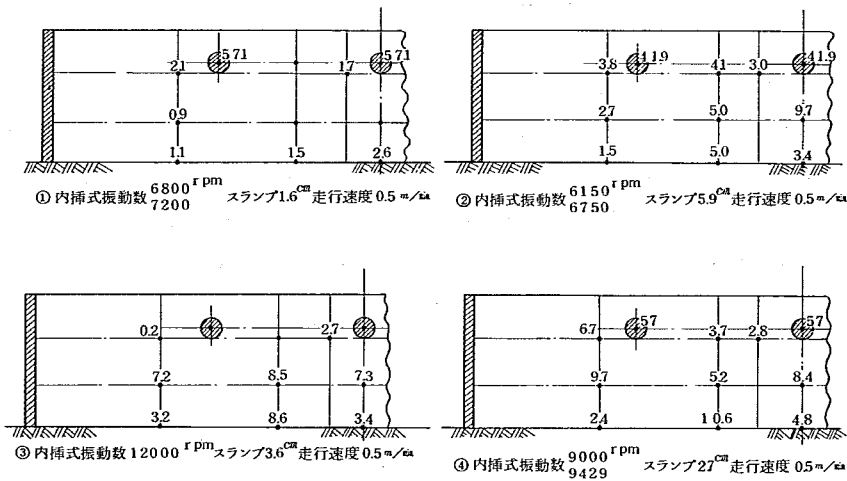


図-18 コンクリート版横断面加速度分布

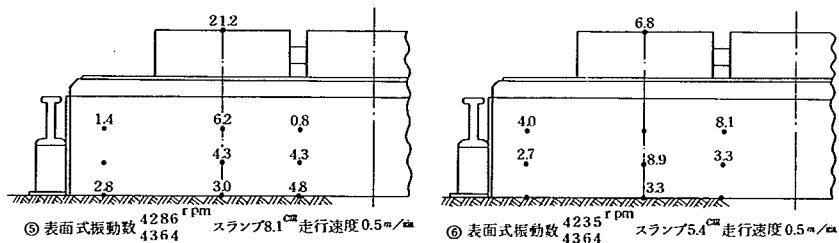


図-19 コンクリート版横断面加速度分布

表-8 現有の舗設機械及び試験機の振動機仕様諸元

振動機型式	出力	毎分振動数	振幅	取付間隔
A社 表面式	550w (60 ^v 220)	3600rpm	1mm	3.75m以下 3台 3.75~5.0m 5台 5.0~7.5m 7台 7.5m 9台
B社 表面式	—	4500rpm	2mm	70cm
A社 内挿式	750w	9000rpm (8000)	2.0mm	60cm
B社 (L型 モータ外)	1200w	8550rpm	2.5mm	70cm
B社 内挿式	—	5000rpm 10500	—	60cm
土研 表面式	900w	3000~6000rpm	0.7mm	45cm
土研 内挿式	800w	6000~12000	—	45cm

5-1-8 T.D.M. と引張強度比

表面式振動機において、5-1-6で引張強度は振動加速度の大きさによってほぼ決まるが、振動をかける時間によっても幾分影響されるので、(図-16参照)、ここで走行速度(振動をかける時間)の要因を加味したT.D.M.と引張強度比との関係を図-20に示す。これによるとT.D.M.の範囲が30cm~180cmの間では、T.D.M.の増加に対して概して引張強度はわずかに減少している傾向にある。これは今までの常識とは逆の傾向であり、その一因としてはコンクリートの分離が考えられる。

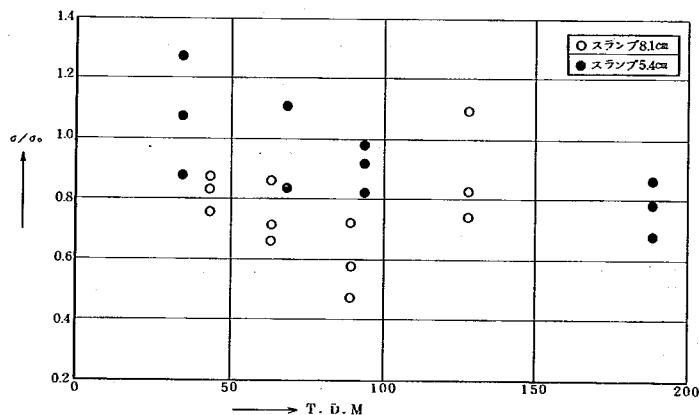


図-20 T.D.Mと引張強度比

また、同じT.D.M.でもスランブの小さい方が引張強度比が大きく出ている。今回はスランブの変化を2種類とっただけなので、スランブの変化による明確な判断はできない。

次にT.D.M.がコンクリート版深さ方向に対していかに分布しているかを見るために、図-21にその関係を示す。パイプロモータ直下は深さが増すに従って一様に減衰しているが、型枠近傍、パイプロモータとモータとの中央点（フランジ部分）に関しては、これとは逆に下層の方が大きくなっていることが分かる。

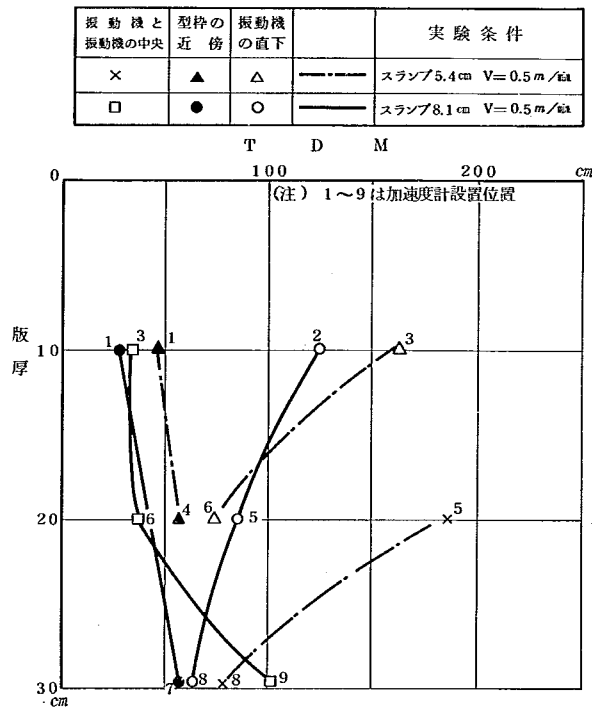


図-21 T.D.Mの分布状態

5-1-9 振動エネルギーと引張強度比

前述したように、T.D.M.とは、表面式振動機による振動締固めを行なう際にコンクリートに与える運動量としての一つの指数であり、T.D.M.そのものの値で一概に締固めの度合を判断するには少々疑問も残るので、次に振動機がコンクリート版に与えるエネルギー量を計算し、引張強度比との関係をみる。解析方法でも述べたがエネルギーを計算する際に進行方向の加速度が問題になり、進行方向加速度分布を図-22、図-23に示す。また、このエネルギー量は、振動機の種類にはよらない普遍的な物理量として表わされる。

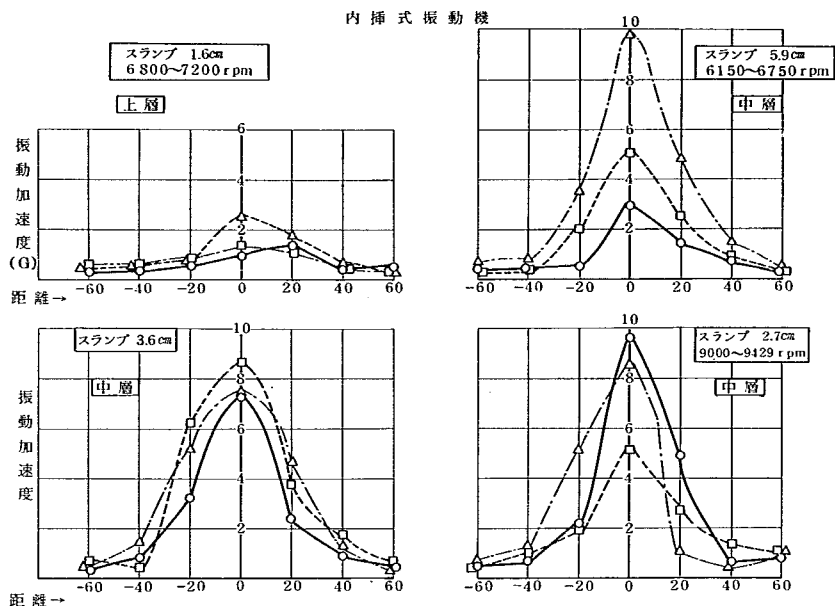


図-22 進行方向加速度分布

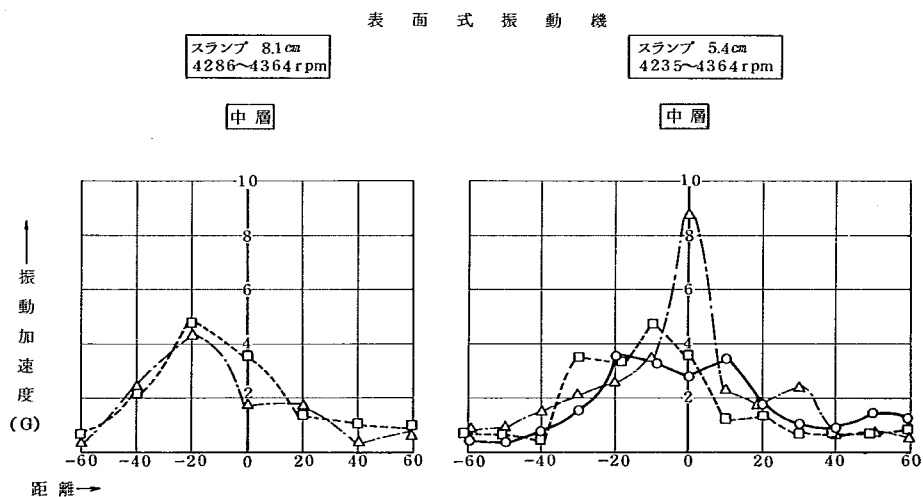


図-23 進行方向加速度分布

ここで、コンクリート路盤内の密度を均一なものとみなすものとする。単位質量当りのエネルギー E/m を考え、振動機から発生したエネルギーから路盤へ消散したエネルギーを差し引いた吸収エネルギー $\Delta(E/m)$ と、引張強度比についての関係をもとめると図-24 に示すようになる。両者の関

係は、直線的な相関は見られず、バラツキが多いが、 $\Delta(E/m) = 0 \sim 4$ (m^2/s^2) までは引張強度は徐々に増加していく傾向があり、このグラフでは、 $\Delta(E/m) = 4$ (m^2/s^2) 以上になると、 σ/σ_0 の値はかなりばらつきがでている。

E/m の増加はコンクリートの分離を促進させる原因の一つと考えられるので、 $\Delta(E/m)$ の値はあまり大きくても良くないと思われる。更に、この単位質量当りのエネルギーのコンクリート版深さ方向の分布を図示すると、図-25のようになる。

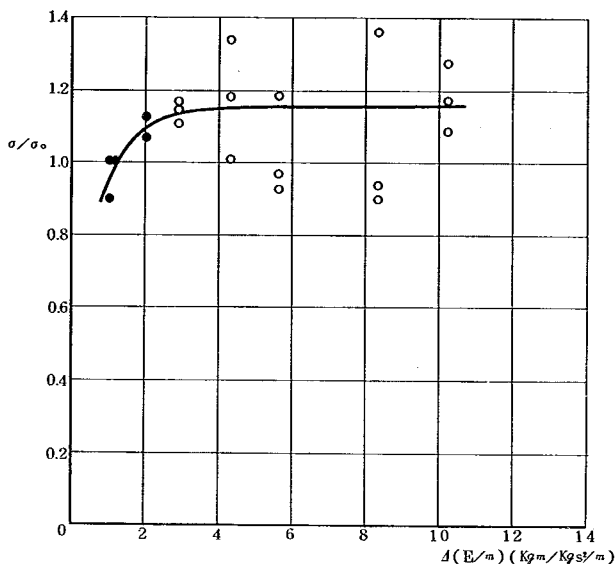


図-24 単位質量当りエネルギーと引張強度比の関係

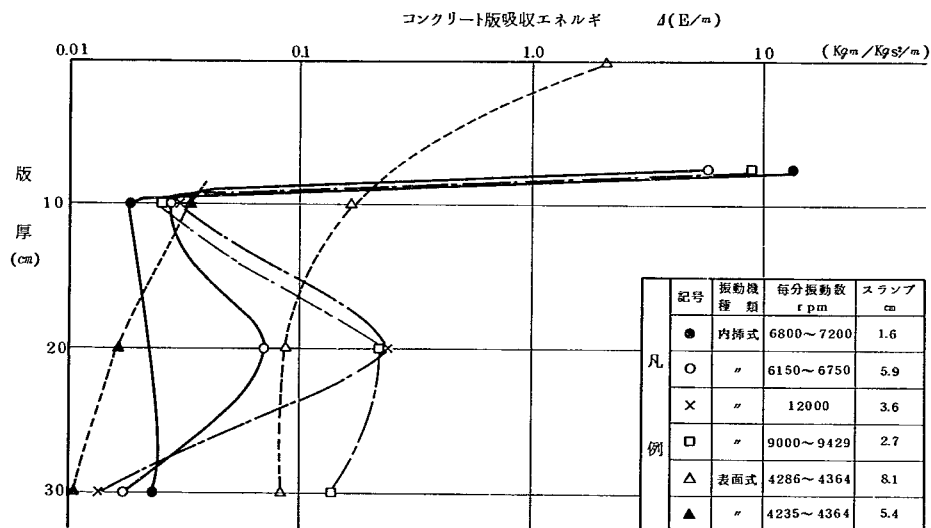


図-25 単位質量当りエネルギーの版厚方向分布

内挿式の場合は、振動の中心(原点)がコンクリート表面から8cm下の位置にある。このグラフは、半対数目盛であるから、振動機からわずかに離れるとかなり急激な減衰を示していることが分かる。特に内挿式の場合にはこの傾向が顕著であるが、中層20cmの位置で再びエネルギーが増して

いるという特異な現象をみせている。一方、表面式の場合は、上層、中層、下層の順に順次減少している。これは振動が拡がって減衰するためと思われる。

5-2 コンクリートの分離

5-2-1 コンクリート版の深さ方向密度分布

表面式及び内挿式振動機により締固められたコンクリート版深さ方向の密度を見ることにより、分離の有無を検討する。各条件毎に3個の試料を上部から5cmきざみに6個に分けて測定し、3個の試料の密度平均値と版厚との関係を図-26に示す。ここでは、内挿式で7点、表面式で6点、(但し、図中⑩⑪は44年度のデータ⁽⁸⁾である)をとった。

	内挿式振動機							表面式振動機						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
毎分振動数 (rpm)	7200	6750	12000	12000	9429	9429	9429	4364	4364	4364	4364	6000	6000	6000
走行速度 (m/min)	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	1.0
スラップ (cm)	1.53	5.9	3.6	3.6	2.7	2.7	8.1	8.1	5.4	5.4	3.0	2.0		

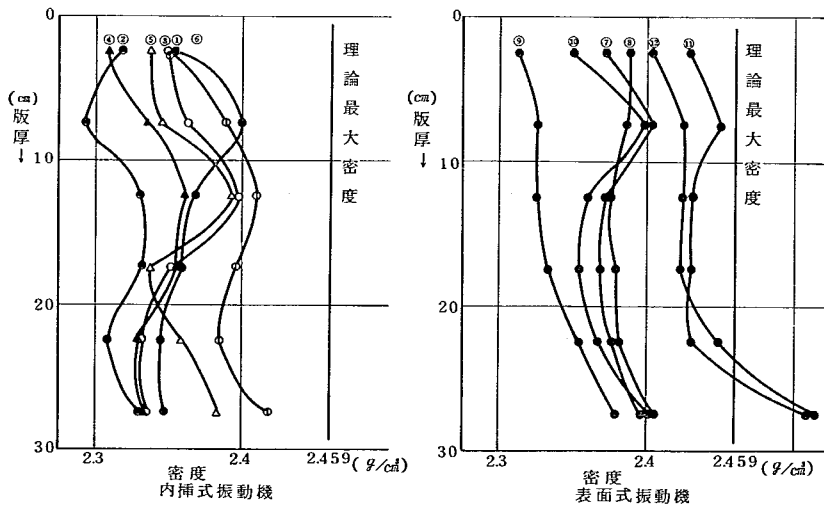


図-26 コンクリート版厚の密度分布

内挿式では、全般に深さ10cm前後の所でわずかにピークがでているが、同一条件での密度差は最大で0.06で、表面式の場合の密度差0.11に比べて小さくなっており、毎分振動数の影響もあまりない。従って、内挿式では一応分離が生じていないと認められる。一方、表面式は、深さ22.5cmまでは殆んど密度は変わらないが、25cm以上の下層の路盤附近になると、すべて密度が急激に大きくなっている。又、毎分振動数が6000rpmと大きくなると、特に下層の密度の増大が顕著になり、理論最大密度2.46 (g/cm^3)を越してしまう。これはコンクリートの分離が生じ、下層に比重の大きい粗骨材、上層に軽いモルタル部が、各々偏ったためと考えられる。

5-2-2 洗い試験結果からの分離の推定

JISA1103 により行なった洗い試験結果を表-8に示す。表-9は内挿式振動機の場合、表-10は表面式振動機の場合を示す。両表よりスランプ8.1cm、5.9cm等の高スランプの場合、上層にモルタルの割合が多く、下層に粗骨材が多く偏析することが認められる。これは、5-1-3で述べた分離が生じている事実を裏づけるものとしてあげられる。

一方、洗い試験を行なった上記結果より、上層部分から採取した生コンクリートの配合比を全体の平均値を1として比較したものを表-11に示す。

分離を考える場合、粗骨材量に対するセメント、水、細骨材の3つを加えたモルタル量の割合が問題になる。表面式で2つ、内挿式で4つ、計6つのサンプルをとり、各項目の数値をそのまま点数として平均値をとると、次のようになった。

内挿式 モルタル総点数 = 3.185

粗骨材の点数 = 0.97

表面式 モルタル総点数 = 3.29

粗骨材の点数 = 0.92

この点数は工学的な意味はあまりないが、分離を判断する一つの目安と考えられる。ここで、モルタルの総点数が3に近く、又粗骨材の点数が1に近い程、分離が少ないといえる。

従って、上の結果から、内挿式振動機による方が、表面式による場合より粗骨材の点数が1に近く、且つモルタル総点数が3に近いことから、分離が少ないと判断される。これは、表面式の方がモルタルの浮き上りが大きいためと考えられる。コンクリートを構成している材料の分離は多かれ少なかれ起るものであり、又、モルタル分の浮き上りによって表面仕上げを良くしていることもあるので、一概に否定されるべきものではないが、その割合が大き過ぎると好ましくないのは勿論である。しかし、どの程度までの分離が容認されるか判断できるデータは示されていないので、30cm厚について、この程度の分離の可否を断定すべき根拠がない。

そこで、今手元にある25cm厚の舗装の場合と比較してみたい。すなわち、春日井バイパスで行なった版厚25cm現場実験における洗い試験結果⁽⁸⁾では、モルタルの平均総点数は3.25、粗骨材の点数は0.96であり、これと比較すると、表面式では、ほぼ同程度の分離であると判断できる。又、内挿式では、個々のデータを対比すると、春日井バイパスの例より優れており、むしろこの程度の差は計測誤差と考えられる。又、分離の少なかった内挿式では、殆んど問題がないと考えられる。

表 - 9 洗 い 試 験 結 果 (内 挿 式 振 動 機)

45.10.30

45.11.9

試 験 条 件		振 動 機 振 動 数 8000 rpm	作 業 速 度 0.5 m/min		ス ラ ン プ 1.6 cm
振 動 機 振 動 状 況 (作 業 時)		振 動 数 7200 rpm	加 速 度 57.6 G		振 幅 0.99 mm
試 料 採 取 位 置		搬 入 直 後	上 層	中 層	下 層
推 定 割 合	単位セメント量	309 Kg/m³	388 Kg/m³	371 Kg/m³	198 Kg/m³
	単位細骨材量	560	686	597	473
	単位粗骨材量	1395	1157	1308	1369
	単 位 水 量	163	187	169	246
	水、セメント比	52.8 %	48.2 %	45.6 %	%

試 験 条 件		振 動 機 振 動 数 8000 rpm	作 業 速 度 0.5 m/min		ス ラ ン プ 5.9 cm
振 動 機 振 動 状 況 (作 業 時)		振 動 数 6750 rpm	加 速 度 45.1 G		振 幅 0.89 mm
試 料 採 取 位 置		搬 入 直 後	上 層	中 層	下 層
推 定 割 合	単位セメント量	313 Kg/m³	461 Kg/m³	397 Kg/m³	334 Kg/m³
	単位細骨材量	547	724	594	532
	単位粗骨材量	1267	1075	1222	1400
	単 位 水 量	215	177	175	164
	水、セメント比	68.8 %	38.3 %	69.7 %	49.1 %

45.11.17

45.11.26

試 験 条 件		振 動 機 振 動 数 12000 rpm	作 業 速 度 0.5 m/min		ス ラ ン プ 3.6 cm
振 動 機 振 動 状 況 (作 業 時)		振 動 数 12000 rpm	加 速 度 — G		振 幅 — mm
試 料 採 取 位 置		搬 入 直 後	上 層	中 層	下 層
推 定 配 合	単位セメント量	412 Kg/m³	339 Kg/m³	331 Kg/m³	289 Kg/m³
	単位細骨材量	650	549	538	578
	単位粗骨材量	1099	1156	1305	1169
	単 位 水 量	208	248	199	253
	水、セメント比	50.5 %	73.1 %	60.0 %	87.4 %

試 験 条 件		振 動 機 振 動 数 12000 rpm	作 業 速 度 0.5 m/min		ス ラ ン プ 2.7 cm
振 動 機 振 動 状 況 (作 業 時)		振 動 数 9429 rpm	加 速 度 56.8 G		振 幅 0.60 mm
試 料 採 取 位 置		搬 入 直 後	上 層	中 層	下 層
推 定 配 合	単位セメント量	268 Kg/m³	412 Kg/m³	342 Kg/m³	397 Kg/m³
	単位細骨材量	535	575	504	635
	単位粗骨材量	1346	1537	1274	1204
	単 位 水 量	185	200	185	304
	水、セメント比	69.2 %	48.5 %	54.1 %	76.7 %

表 - 10 洗い試験結果 (表面式振動機)

45.12.4						45.12.15									
試験条件		振動機振動数		作業速度		スランプ		試験条件		振動機振動数		作業速度		スランプ	
		4500 rpm		0.5 m/min		8.1 cm				45000 rpm		0.5 m/min		5.4 cm	
振動機振動状況 (作業時)		振動数		加速度		振 幅		振動機振動状況 (作業時)		振動数		加速度		振 幅	
		4364 rpm		21.2 G		0.38 mm				4364 rpm		6.7 G		0.33 mm	
試料採取位置		搬入直後	上 層	中 層	下 層	試料採取位置		搬入直後	上 層	中 層	下 層				
推 定 配 合	単位セメント量	373 Kg/m³	373 Kg/m³	260 Kg/m³	603 Kg/m³	推 定 配 合	単位セメント量	343 Kg/m³	319 Kg/m³	356 Kg/m³	373 Kg/m³				
	単位細骨材量	583	621	569	272		単位細骨材量	626	670	570	663				
	単位粗骨材量	1176	995	1155	1288		単位粗骨材量	1168	1157	1242	1167				
	単位水量	217	279	271	220		単位水量	213	208	202	189				
	水、セメント比	58.0 %	74.6 %	104.3 %	36.5 %		水、セメント比	61.9 %	65.0 %	56.7 %	50.8 %				

表-11 洗い試験結果（分離判定用）

	試験条件	全層の平均値に対する上層の割合			
		単位セメント量	単位水量	単位細骨材量	単位粗骨材量
内挿式振動数	f : 8000 rpm V : 0.5 m/min	1.22	0.93	1.17	0.91
	f : 8000 rpm V : 0.5 m/min	1.16	1.03	1.17	0.87
	f : 12000 rpm V : 0.5 m/min	1.06	1.06	0.99	0.96
	f : 12000 rpm V : 0.5 m/min	1.07	0.87	1.01	1.15
表面式振動数	f : 4500 rpm V : 0.5 m/min	1.20	1.09	1.27	0.87
	f : 4500 rpm V : 0.5 m/min	0.91	1.04	1.06	0.97
	春日井パイパス				
	f : 3960 rpm①	1.10	1.03	0.78	1.07
	②	1.46	1.09	1.09	0.85
	V : 0.54 m/min ③	1.19	1.04	0.96	0.97

5-2-3 採取コア上・下層引張強度からの分離の推定

コンクリート版から採取したコアの上下の強度差を見るために、15cmφ×30cmのコアを上・下二層に切断し、各々圧裂試験による引張強度を測定した。結果を表-12、表-13に示す。

ここに、上下強度比とは、上層の下層に対する強度を示している。データは、かなりバラツキが見られるが、振動機型式別の上下強度比の平均値をとってみると、内挿式では0.85、表面式では0.88と、下層の強度が大きくなっていることが分かる。この差の原因としては、コンクリートの分離、養生条件、コンクリートの内圧等のことが考えられる。

なお、上層が下層より低い強度になっていても、全体としての強度は設計値よりかなり上まわっており、一方、実際の道路では上層は圧縮され、下層は引張られる場合が多いと考えられるので、問題は少ないと考えられる。

表 - 12 上下層引張強度 (内挿式)

実 験 条 件	項 目	引 張 強 度 (Kg/cm^2)			
		№ 1	№ 2	№ 3	mean
内挿式 走行速度 スランプ 6800 rpm 0.5 m/min 1.6cm 7200 "	上部引張強度	40.9 (1.38)	31.3 (1.06)	41.2 (1.39)	37.8
	下部引張強度	36.2 (1.22)	33.8 (1.14)	29.6 (1.00)	33.2
	上下強度比	1.13	0.93	1.39	1.14
内挿式 6150 rpm 0.5 m/min 5.9cm 6750 "	上部引張強度	22.7 (0.93)	24.1 (0.99)	28.2 (1.16)	25.0
	下部引張強度	31.6 (1.30)	33.7 (1.38)	31.3 (1.29)	32.2
	上下強度比	0.72	0.72	0.90	0.78
内挿式 6150 rpm 1.0 m/min 5.9cm 6750 "	上部引張強度	22.4 (0.92)	20.5 (0.84)	18.6 (0.76)	20.5
	下部引張強度	25.4 (1.04)	27.2 (1.12)	23.9 (0.98)	25.5
	上下強度比	0.88	0.75	0.78	0.80
内挿式 12000 rpm 0.5 m/min 3.6cm	上部引張強度	20.6 (0.62)	25.2 (0.76)	32.4 (0.98)	26.1
	下部引張強度	26.6 (0.80)	27.2 (0.82)	32.1 (0.97)	28.1
	上下強度比	0.77	0.93	1.01	0.93
内挿式 12000 rpm 1.0 m/min 3.6cm	上部引張強度	35.5 (1.07)	31.2 (0.94)	24.1 (0.73)	30.3
	下部引張強度	31.5 (0.95)	31.0 (0.93)	40.3 (1.21)	34.3
	上下強度比	1.13	1.01	0.60	0.88
内挿式 9000 rpm 0.5 m/min 2.7cm 9429 "	上部引張強度	30.3 (0.94)	29.3 (0.91)	24.6 (0.76)	28.1
	下部引張強度	33.1 (1.02)	46.2 (1.43)	32.7 (1.01)	37.3
	上下強度比	0.92	0.63	0.75	0.75
内挿式 9000 rpm 1.0 m/min 2.7cm 9429 "	上部引張強度	30.5 (0.94)	27.0 (0.83)	24.1 (0.75)	27.2
	下部引張強度	40.5 (1.25)	39.3 (1.21)	37.2 (1.15)	39.0
	上下強度比	0.75	0.69	0.65	0.70

$$\text{上下強度比} = \frac{\text{上層部引張強度}}{\text{下層部引張強度}}$$

表 - 13 上下層引張強度 (表面式)

実 験 条 件	項 目	引 張 強 度 (Kg/cm^2)			
		No. 1	No. 2	No. 3	mean
表面式 走行速度 スランプ 4286rpm 0.5 m/min 8.1cm 4364 "	上部引張強度	24.0 (0.738)	26.8 (0.83)	35.6 (1.10)	29.1
	下部引張強度	28.8 (0.886)	23.2 (0.71)	21.4 (0.66)	24.5
	上下強度比	0.83	1.16	1.66	1.19
表面式 4286rpm 1.0 m/min 8.1cm 4364 "	上部引張強度	23.7 (0.73)	15.6 (0.48)	18.8 (0.58)	19.4
	下部引張強度	28.4 (0.87)	27.0 (0.83)	24.4 (0.75)	26.6
	上下強度比	0.83	0.58	0.77	0.73
表面式 4235rpm 0.5 m/min 5.4cm 4364 "	上部引張強度	19.8 (0.69)	25.0 (0.87)	22.8 (0.79)	22.5
	下部引張強度	24.1 (0.83)	31.8 (1.10)	32.1 (1.11)	29.3
	上下強度比	0.82	0.79	0.71	0.77
表面式 4235rpm 1.0 m/min 5.4cm 4364 "	上部引張強度	28.3 (0.98)	23.4 (0.81)	26.4 (0.91)	26.0
	下部引張強度	36.7 (1.27)	25.1 (0.87)	31.1 (1.08)	31.0
	上下強度比	0.77	0.93	0.85	0.84

$$\text{上下強度比} = \frac{\text{上層部引張強度}}{\text{下層部引張強度}}$$

6 結 論

表面式、内挿式の振動機を用いて30cm厚の舗装版を締固めた結果次のことが判明した。

- (1) 表面式、内挿式両振動機共、引張強度比は1.06以上であり、標準供試体以上の強度が得られた。
(表-6)
- (2) 6回の実験の平均曲げ強度は47.5 Kg/cm^2 で、設計曲げ強度45 Kg/cm^2 以上になっている。
- (3) 振動加速度2G以上あれば引張強度比は0.8以上を保っている。(図-16)
- (4) コンクリート版内の骨材の分離に関しては、表面式でいく分多いが、25cm厚の場合に比べてそれほど大きいとは言えない。内挿式については問題ない。(図-10)(図-26)(表-12)
以上より、30cm厚層コンクリート版の締固めは、現用機でも可能であることが判明した。

7 あ と が き

本試験は、昭和44年度に行なった厚層セメントコンクリート舗装版の振動締固め（表面式振動機）の試験に引き続き、内挿式振動機による振動締固めを行ない、その締固めの可能性について、コンクリート版の強度、分離という観点から検討を行なった。その結果、両振動機共、厚層30cmコンクリート版一層打ちの締固めは、現用機でも可能であることが解明された。今後は、振動機による締固めの他、更に、コンフォーミングプレート、トレイルフォームによる加圧、整形効果、並びにフィニッシングスクリード等による路面の仕上げ効果の検討が問題になると思われるので、引き続き研究を行なうつもりである。

なお、本試験に関し、いろいろご指導いただいた、コンクリート舗装研究会、土木研究所永盛千葉支所長、伊東赤羽支所長、コンクリート研究室、舗装研究室の皆様、実験に当っては機械研究室の皆様、深く感謝する次第です。

8 参 考 文 献

- (1) 近藤、坂著「コンクリートハンドブック」（311頁） 朝倉書店
- (2) 谷下、渡辺著「工業振動学」東京図書
- (3) W. T. Thomson 著「機械振動入門」丸善KK
- (4) 「機械工学便覧」
- (5) 山川、永盛著「コンクリート舗装の機械化施工法に関する研究報告書」（S33年3月）土木研究所
- (6) 「RF型ロードフィニッシャ実用試験報告書」（S34年3月）東北地建磐城国道工事事務所
- (7) 「コンクリートロードフィニッシャ試験」 土木研究所 施工研究室
- (8) 土木研究所資料（第623号）
田中、伊藤、門脇著「舗装機械の作業性能に関する研究」（S45年11月）
- (9) S. Itoh, Dr. Eng., M. Isozaki, E. Yohda: "Workability and Sand Aggregate Ratio of Pavement Concrete" Journal of Research (1966)
- (10) M. Nagamori, Dr. Eng.: "Fundamental Investigation on the compaction of concrete Road Slabs by Surface Vibration" Journal of Research (1966)

舗装機械の作業性能に関する研究
厚層セメントコンクリート舗設版の振動締固めに
ついて

土研資料第737号
昭和47年(1972)

田中康之, 岡崎治義, 門脇 勇

キーワード

コンクリート舗装機械、振動締固め

要 旨

厚層コンクリート舗装の締固めの可能性について、現用機と同型のコンクリート舗装試験機による実験を行った結果、下記の事が解明された。

1. 厚装コンクリート版を締固めずには、2G以上の振動加速度が必要である。
2. 現用のコンクリート舗装機械の振動数の能力でも、かなりの締固めが可能である。
3. コンクリートの分離に関しては、表面式でややその傾向がある。
4. この程度 of 分離でも、現在の25cm舗装と同じ程度であり問題はない。



郵便はがき

いは
十
円
切
手
を

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
機械研究室
御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号

No. 89

No. 89

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第737号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印