

鋼繊維で補強した透水性コンクリート舗装に関する実験的研究

中村純平*・三浦裕二**

本論文では、重交通道路に適用する透水性舗装の力学的特性が検討され、曲げ強さと靱性を改善するためにステンレス鋼繊維で補強したセメント・コンクリート透水性舗装の開発について述べられている。実施工のために室内実験結果により、現場実験が実施された。また、無補強のプレーンセメントコンクリート透水性舗装が補強された透水性舗装と比較されている。この新しい透水性舗装を車道用に適用する場合、ローラー転圧施工法が適用できることを提案した。

Keywords : porous pavement, steel fiber reinforced concrete, run off control, urban environment

1. はじめに

透水性舗装が過密化する都市において、環境的に有効な施策を提供することが解明されつつある。

そこで、ある市街地を設定し、透水性舗装の利点の一つである「下水道雨水流出抑制機能」について多年にわたってその有効性について調査を実施した。

透水性舗装は、通常のアスファルト舗装表層材に比べて耐久性が低いことや、雨水が路床・路盤に浸透することによる支持力低下に対する懸念、あるいは供用による目詰まりなど、普及させる上で解消しなければならない種々の課題も多い。

このような現状から、透水性舗装は歩道あるいは比較的軽車両を対象とした舗装にとどまっている。

筆者らは、透水性舗装を車道部へ適用することを試み、主として、舗装材料に絞って検討し、その結果、材料をセメントコンクリートに求め、鋼繊維で補強し、コンクリート複合材とすることで、強度・曲げ靱性などを向上させ、その効果を確認することができた。

本論文はこれらの経緯と、各種基礎実験及び現場実験等を行い、その結果に基づき新しい工法を提案し、実用化にあたっては、施工の迅速性を図るためローラー転圧工法を適用した、以下それらの結果等について述べるものである。

2. 透水性舗装の必要性

(1) 有効性について

透水機能を有する舗装とした際の利点は、都市環境の側面から次に示す効果が期待されている。

1) 植生および地中生態の改善

- 2) 下水道の負担軽減, 雨水流出抑制効果による都市河川氾濫防止
- 3) 公共水域の汚濁軽減
- 4) 地下水涵養
- 5) 路面排水施設の軽減あるいは省略
- 6) すべり抵抗の増大 (歩道の歩行性の改善)
- 7) 夜間照明が乱反射されることによる眩惑の軽減・夜間の視認性の改善
- 8) 舗装地表面の大気温度に及ぼす影響・夏期大気温度の低下
- 9) 道路交通によるタイヤ騒音低減効果

特に市街地において、都市化に伴う雨水流出形態の変化は、ピーク流出量が増大する、いわゆる「都市型洪水」を発生させる。これらの解決策の一つとして「雨水流出抑制型下水道」としての透水性舗装が考えられる。

そこで、横浜市においては、都市型洪水の一つの解決策として、全体流域面積約 17 ha の既存の住宅地内に流出抑制施設 (浸透地下トレンチ管) を導入した透水性舗装を施工し、雨水流出抑制対策の評価を目的として、昭和 60 年より 5 年間にわたり実験的検証を試みた。その有効性について述べる。

(2) 透水性舗装による雨水流出抑制対策

a) 調査流域

横浜市旭区万騎が原地内の住宅地で土地利用状況が同様で近接している流域を調査流域に選定した。調査流域は、従来型舗装を設置した分流式下水道流域 (A 流域) と透水性舗装を設置した抑制型下水道流域 (B 流域) から成っている。各流域面積と舗装面積は、Table 1 に示すとおりである。透水性舗装構成は、表層 5 cm, 路盤 30 cm, 遮断層 10 cm である。

b) 水利解析

降雨観測結果より降雨モデルを選定し、その時の各流域の流出量を算定した。また、流出量の測定は各流域の

* 正会員 横浜市下水道局建設部工事安全課長
(〒231 横浜市中区港町1丁目1番地)

** 正会員 工博 日本大学教授 理工学部交通土木工学科

Table 1 Summary of drainage basin

流域	流域面積	下水道システム及び舗装面積 (L交通)
A	4.43ha	従来型舗装を設置した分流式下水道流域 従来型舗装: 7,000m ²
B	6.24ha	透水性舗装を設置した抑制型下水道流域 透水性舗装: 7,100m ²

Table 2 List of contral effect

	ピーク流出量		総流出量	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
Case 1	1.813m ³ /sec	—	4,624.49m ³	—
Case 2	1.586m ³ /sec	87.5%*	4,002.62m ³	86.6%*

* Case 1に対する比率

最下流に設置した流量計により行った。

実測流出量から計画降雨による解析に用いる流域特性定数(浸透能, 凹地貯留量等)を決定した。定数の決定は実測流出量と計算流出量を整合させることにより行った。

次に, 抑制型下水道流域(B流域)に抑制施設を組み込んだ場合と組み込まれない場合の計画降雨における流出量を求め, それぞれのピーク流出量と総流出量の比較により抑制効果の把握を行った。ここで用いた計画降雨は5年確立降雨強度式によるものであり, 降雨継続時間は6時間とした。

計画降雨における解析結果は, Table 2に示すとおりである。透水性舗装を設置した場合(Case 2)の流出量は, 従来型舗装を設置した場合(Case 1)の流出量に対し, ピーク流出量, 総流出量ともに15%程度少なくなり, 抑制効果が得られるものと推定される。これは, 調査期間(5年間)内の実測降雨モデル時におけるA流域とB流域の実測流出量の比較から見た抑制効果(約15%)とほぼ同様な値であった。

c) 地下水調査

調査流域の地下水位は, 通常地表下3~5mである。降雨に対する変動は, 強降雨時に若干の水位上昇が観測されただけである。地下水質は, 大きな変動はなく, 水質環境基準3類の基準地をほぼ満足していた。

(3) アンケート調査(無差別)

舗設後1年後及び4年後にA, B流域地区, 350戸世帯を対象に透水性舗装に関するアンケート調査を実施し, 地域住民の意見等を集約した。回収率平均は90%で, 結果は次の通りとなった。

1) 降雨時について

I) 通常の舗装より「滑りにくい」, 水はねが「少ない」との意見が約90%に及ぶ。

II) 路面反射について反射が「少ない」「全くない」を合計すると約80%となる。

2) 車両通行について

I) 通常の舗装と比べて車両走行時の騒音と振動について「変わらない」が49%で, 「小さい」との解答が20%であった。

II) 車両の走行性が通常の舗装より「良い」が29%で, 「変わらない」との解答が28%であった。

3) その他

I) 体感温度について「通常の舗装より涼しく感じる」としたものの約50%。

II) 舗装面について「通常の舗装よりいたみが少ない」と答えたものが約36%。

III) 雪の積もり具合と解け具合について「通常の舗装と同等」が31%であり, 「積もりにくく解けやすい」という意見が約38%あった。

以上, 透水性舗装の必要性を検証するために, 一部ハード・ソフト面から住民の意見等も入れて考察した。

大都市において, これらの利点を生かした透水性舗装に対する要請は今後とも高まることが予想されることから重交通の車道への適用が必至となる。これらの要請に対応すべく新たな工法を次章以降で提案するものである。

3. 研究開発の目的及び試験項目

(1) 研究開発の目的

透水機能を持った空隙率の多い混合物を車道用舗装として用いる場合, 舗装上を通過する車両の荷重によって過大な変形が生じない材料を選定しなければならない。アスファルト系の透水性舗装は, 重交通相当の荷重に対して変形はく脱しやすく車道用としては不向きとされている。

そこで重交通にも耐えることのできる車道用透水性舗装として, 鋼繊維補強コンクリート(以下SFRCという)を用いたセメント系透水性舗装の適用を試みた。

SFRC透水性舗装が具備すべき品質特性を次のように定めた。

- 1) 曲げ強度 45 kgf/cm²(4.41 MPa) 以上
(セメントコンクリート舗装要綱準拠)
- 2) 透水係数 1×10⁻²cm/sec 以上
(透水性舗装ハンドブック準拠)

また, 使用材料選定にあたって次の5項目について考慮した。

- a) 既存の生コンクリート工場が使用している材料を主体とする。
- b) 曲げ疲労に対する抵抗を高める目的で鋼繊維で補強する。
- c) 透水性舗装であることを考慮して使用する鋼繊維はステンレス鋼とする(防錆)。
- d) 混和剤は接着効果及び減水効果を考慮してアクリ

Table 3 List of materials

材料名	比重	吸水率(%)	FM	備考
粗骨材	2.65	0.49	6.95	碎石 25-5
細骨材(1)	2.63	1.24	4.70	砕砂
細骨材(2)	2.63	1.33	2.87	川砂
セメント	3.16	—	—	普通ポルトランドセメント
混和材	1.04	—	—	アクリル系樹脂エマルジョン

Table 4 Kind of steel fibers

種別	寸法			7x8' 外比	備考
	公称長さ ℓ (mm)	幅×厚 (mm)	公称断面積 s (mm ²)		
SPGA #5530	30	0.50×0.50	0.250	53	亜鉛メッキ鋼繊維
SUS430 #5530	30	0.50×0.50	0.250	53	ステンレス鋼繊維
SUS304 #5530	30	0.50×0.50	0.250	53	ステンレス鋼繊維
SUS304 #3525	25	0.30×0.50	0.150	57	ステンレス鋼繊維
SUS430 #3525	25	0.30×0.50	0.150	57	ステンレス鋼繊維
SUS430 #3515	15	0.30×0.50	0.150	34	ステンレス鋼繊維

Table 5 Result of fundamental tests

番号	基礎実験		
	1	2	3
実験の目的・条件	<ul style="list-style-type: none"> ・粒度の検討 ・S/a=20% ・単位セメント量の検討 ・C=250, 300, 325kg/m³ ・アスファルト舗装と同じ締固めエネルギーで供試体作成 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼繊維混入の可能性を検討 ・SF量=0, 0.6, 0.9%(容積%) ・目標空隙率 20% ・締固めエネルギー一定量 ・鋼繊維は鉄鋼を使用した為、供試体の養生は空中養生で行なう 	<ul style="list-style-type: none"> ・ステンレス鋼・メッキ鋼の比較 ・sus430(#5530, #3525), sus304(#5530, #3525), SPGA(#5530) ・繊維の長さの比較 ・ℓ=25, 30mm ・実験2の結果より 1) SF量=40kg/cm³ (0.5Vol%) 2) C量=270kg/m³ (+20kg/m³) ・締固めエネルギー一定 ・目標空隙率 20% ・W/C=33% ・S/a=20%
実験結果	<ul style="list-style-type: none"> ・S/a=20% ・C=250kg/m³ ・W/C=30% ・上記配合にて σ₂₈=45~50kgf/cm² (標準養生) 	<ul style="list-style-type: none"> ・単位容積重量 大SF 0% > SF 0.6% > SF 0.9% 小 鋼繊維混入とともに締りにくくなる ・曲げ強度 大SF 0.6% > SF 0% > SF 0.9% 小 ・曲げタフネス 大SF 0.6% > SF 0.9% > SF 0% 小 鋼繊維を混入した効果が認められる ・供試体の空隙率 23%~30%と目標よりも大きい ・曲げ強度 20~25kgf/cm²目標よりも小さい 	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ強度 35~50kgf/cm² sus430 > sus304 > SPGA 繊維長25mm > 繊維長30mm ・曲げタフネス sus304 > sus430 > SPGA 繊維長25mm > 繊維長30mm ・供試体単位容積重量 繊維長25mm > 繊維長30mm ・曲げ強度は供試体の単位容積重量(空隙率)に影響される ・空隙率14%程度でも目標透水係数を満足する ・強度に及ぼす影響は C/Wよりも空隙率のほうが大きい
次実験への反映	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼繊維を混入した場合の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼繊維混入量を0.5Vol%として今後の実験を進める ・曲げ強度が目標より低かった原因 ①空隙率: 目標よりも大 ②養生条件: 空中養生 	<ul style="list-style-type: none"> ・維持長さ25mmより短いものについて検討 ・目標空隙率を短く設定 ・空隙低下分を細骨材で補充

Table 6 Mix proportion of porous concrete

粗骨材 最大寸法 (mm)	目標 空隙率 (%)	水 セメント 比 (%)	粗骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
				水	セメント	粗骨材	細骨材(1)	細骨材(2)	混和材	鋼繊維
20	14	32.8	25.4	95	290	1365	342	108	14.5	40

- ・ 鋼繊維はステンレス鋼を使用
- ・ 鋼繊維混入量は0.5容積%
- ・ 混和剤はアクリル系樹脂エマルジョンを使用

ル系樹脂エマルジョンを用いる。

e) 材料分離が生じにくい粒度とする。

(2) 検討項目

SFRCを用いた透水性コンクリート舗装開発のための基礎的研究として、下記の項目について実験を行った。

1) 粒度・単位セメント量

2) セメント水比と強度

3) ステンレス鋼の形状と強度

4) 空隙率と強度

5) 空隙率と透水係数

(3) 試験方法

強度試験は曲げ強度試験により、SFRCの曲げ強度、

Table 7 Road classification by traffic volume

本 実 験	<ul style="list-style-type: none"> • 繊維長さの比較 $l = 15, 25\text{mm}$ • 空隙率の比較 10, 14, 18% • $S/a = 25.4\%$ • C量 = $290\text{kg}/\text{m}^3$ • 所定の密度となるまで 締固める 	<ul style="list-style-type: none"> • 曲げ強度 繊維長15mm 与 繊維長25mm 繊維混入 > 繊維未混入 • 曲げタフネス 繊維長25mm > 繊維長15mm > 未混入 • 空隙率10.5%で目標透水係数 $1 \times 10^{-2} \text{ cm}/\text{sec}$を満足する
-------------	--	--

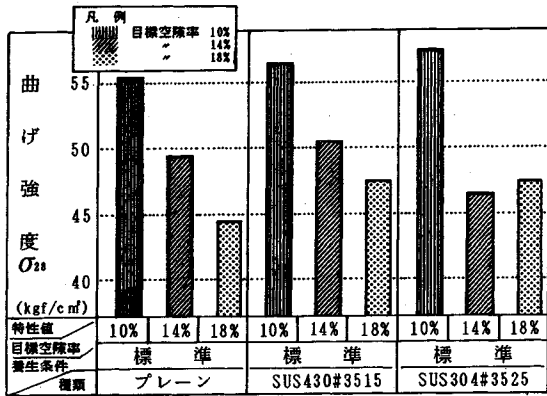


Fig.1 Bending strenght of porous concrete

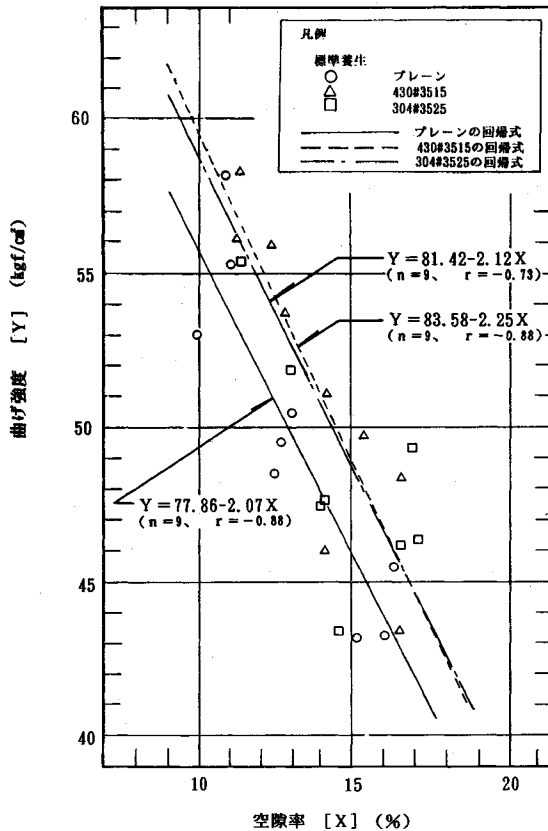


Fig.2 Relationship between air voids and bending strenght

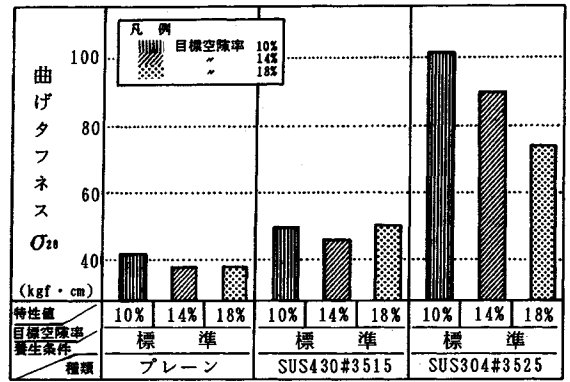


Fig.3 Toughness of porous concrete

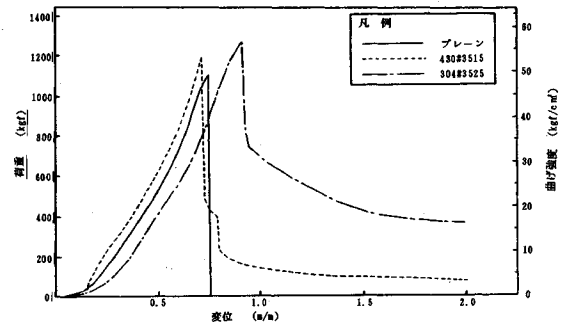


Fig.4 Typical load-deflection curves for standard specimens

及び曲げタフネス試験を JCI-SF 4 に準拠し、また透水試験については建設省土研法 (案) に従った。

(4) 使用材料

実験に用いた材料を Table 3, 4 に示す。

(5) コンクリートの練りませ及び供試体の作製

コンクリート練りませは、容量 60 l 練りの二軸パグミル強制練りミキサーを用いて、40 l 練りで実施した。曲げ強度試験供試体は、10 cm × 10 cm × 40 cm とし、供試体の作製は電動振動タンパを用い、二層に分けて供試体上面より締め固めた。

4. 基礎実験

本実験に先立ち、3回の基礎実験を実施した。実験結果の概要を Table 5 に整理して示す。

5. 本実験

(1) 本実験結果について

透水性コンクリートの配合を Table 6 に、結果の概要を Table 7 に示す。

上記の配合について目標空隙率を、10, 14, 18% とした供試体を作製し、材令 28 日までそれぞれ養生を行った。

a) 曲げ強度について

曲げ強度試験結果を Fig.1 に、個々の供試体の空隙率

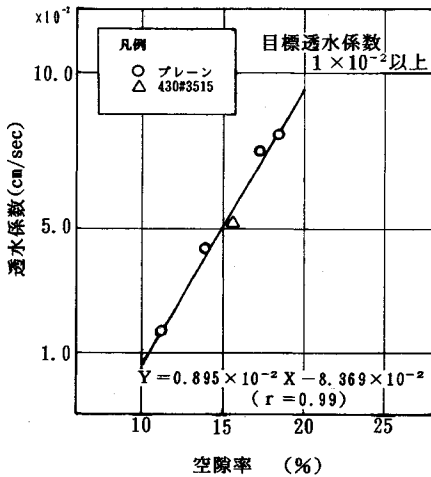


Fig.5 Relationship between air voids and coefficient of permeability

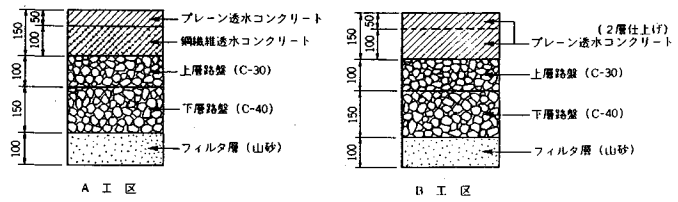


Fig.6 Structure of pavement for trial construction

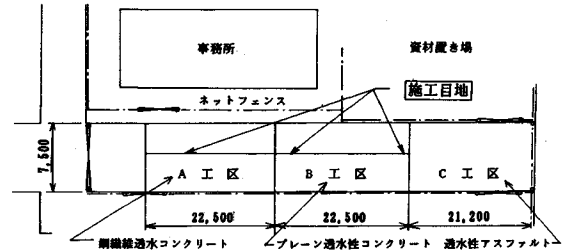


Fig.7 Construction site of trial pavement

と曲げ強度の関係を Fig.2 に示す。Fig.1, 2 から、曲げ強度は空隙率に支配的影響を受け、また鋼繊維を混入することによりプレーンコンクリートに比べて曲げ強度が $1\sim 3 \text{ kgf/cm}^2 (0.10\sim 0.29 \text{ MPa})$ 大きくなる。

また空隙率と曲げ強度には相関関係が認められ、鋼繊維の種類ごとに曲げ強度 (Y) は空隙率 (X) の一次式で回帰される (従来の単位系による)。

プレーン $Y = 77.86 - 2.07X \dots\dots\dots (1)$

(相関係数 $\gamma = -0.88$)

SUS 430 # 3515 $Y = 83.58 - 2.25X \dots\dots\dots (2)$

(相関係数 $\gamma = -0.88$)

SUS 304 # 3525 $Y = 81.42 - 2.12X \dots\dots\dots (3)$

(相関係数 $\gamma = -0.73$)

上式より、鋼繊維を混入したものは、プレーンと比較していずれも曲げ強度が大きくなっており、鋼繊維混入の効果が認められる。しかし、SUS 430, SUS 304 の材質の違い、あるいは鋼繊維長 $l = 25 \text{ mm}, 15 \text{ mm}$ の形状の違いによる顕著な差は認められず、同程度の曲げ強度特性であった。

b) 曲げタフネスについて

曲げタフネスを Fig.3 に、荷重-変位曲線を Fig.4 に示す。

鋼繊維を混入したものは、何れも曲げタフネスが増加しており、SFRC としての力学特性の改善が認められる。その増加率は、プレーンと比較し、概ね SUS 430 # 3515 で 1.2~1.7 倍、SUS 304 # 3525 で 2.4~2.8 倍となる。また、空隙率増加に伴う曲げタフネスを見ると、SUS 430 を除き減少する傾向が認められ、曲げ強度同様、空隙率に依存していることが知られる。

c) 透水試験について

目標透水係数は、透水性アスファルト混合物に要求さ

れている $1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 以上とした。

透水試験結果を Fig.5 に示す。空隙率を変化させ作成した供試体の透水係数はいずれも $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 以上を満足する結果であった。透水係数 (Y) と空隙率 (X) には、強い相関関係が認められ、その直線回帰式は、次の通りである。

$$Y = 0.895 \times 10^{-2} X - 8.369 \times 10^{-2} \dots\dots\dots (4)$$

(相関係数 $\gamma = 0.99$)

上式より、目標透水係数 $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ 以上を満足する最小空隙率は、10% 以上となる。

(2) 結果のまとめ

今回の実験結果をまとめると次のようになる。

a) 配合について

プレーンコンクリートの配合は目標空隙率 14% で曲げ強度が約 $49 \text{ kgf/cm}^2 (4.8 \text{ MPa})$ と、目標曲げ強度 $45 \text{ kgf/cm}^2 (4.41 \text{ MPa})$ を満足しており透水係数も $5 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec}$ と透水性を確保し、当初の目的を達成したと考える。このコンクリートに鋼繊維を混入することにより、曲げ強度、曲げタフネスは増加し、鋼繊維補強効果を認めることができる。今回用いた鋼繊維の混入量は、0.5 容積パーセントである。

b) 曲げ強度について

目標曲げ強度 $45 \text{ kgf/cm}^2 (4.41 \text{ MPa})$ を満足する空隙率は、プレーンで約 16% 以下、鋼繊維補強で約 17% 以下である。また目標空隙率 14% の曲げ強度はプレーンで約 $49 \text{ kgf/cm}^2 (4.8 \text{ MPa})$ 、鋼繊維で約 $52 \text{ kgf/cm}^2 (5.1 \text{ MPa})$ となる。同一空隙率で比較すると、鋼繊維補強コンクリートはプレーンコンクリートよりも曲げ強度が約 $3 \text{ kgf/cm}^2 (約 0.3 \text{ MPa})$ 大きくなる。

c) 曲げタフネスについて

鋼繊維を混入することにより曲げタフネスは増加し、

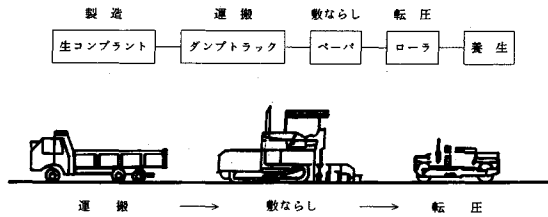


Fig.8 Arrangement of equipment for construction

Table 8 Result of quality control for construction

試験名	試験方法	鋼繊維混入タイプ	鋼繊維未混入タイプ
曲げ強度 (kgf/cm)	JIS A 1108	50.0	49.9
曲げタフネス (kgf·cm)	JCI - SF4	120.0	53.4
透水係数 (cm/sec)	建設省土研法(案)	3.44~4.37×10 ⁻²	
空隙率 (%)	—	10 ~ 18	

鋼繊維の種類では SUS 304 を用いたものが、曲げタフネスが最も大きくなる。繰返し荷重を受ける舗装用コンクリートとしては、このタフネスの増大は誠に重要な意味を持つものと考えられる。

d) 空隙率について

空隙率と透水係数の関係から、透水性コンクリートの空隙率が 10% 以上あれば目標透水係数 1×10⁻² cm/sec を満足する。

以上の結果より、曲げ強度、透水係数を満足する透水性コンクリートの空隙率は 10~16% であれば良いこと、また同一曲げ強度であればプレーンコンクリートよりも鋼繊維補強コンクリートの方が空隙率を 1% 程大きくとることができ、透水性において有利である。

6. 構造設計

車道用透水性コンクリートの舗装構造は、セメントコンクリート舗装要綱ならびに透水性ハンドブックに準じて試験施工を実施した。

7. 実施例

(1) 施工概要

工事場所：横浜市栄区长沼町 96-1

横浜市下水道局第二下水道建設事務所地内

工事内容：透水性舗装 幅員 7.5 m 延長 45 m

A 工区 鋼繊維補強コンクリート 169 m²

B 工区 プレーンコンクリート 169 m²

両工区の舗装構造は Fig.6 に示す通りである。

SFRC を用いた A 工区は、舗装表面に鋼繊維が露出しないよう、上層にはプレーンコンクリートを用いた。なお、透水性コンクリートの配合は Table 6 に示したものと同様とした。また、施工平面図は Fig.7 に示す。

(2) 施工管理

透水性コンクリート舗装の施工機械編成を Fig.8 に、

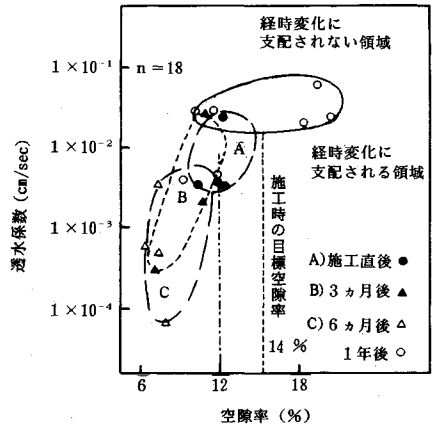


Fig.9 Result of permeability test on trial construction

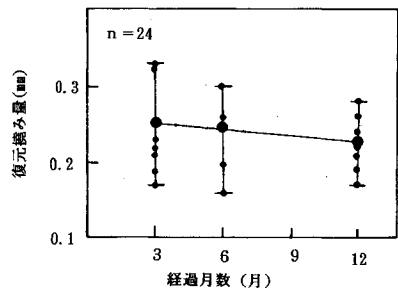


Fig.10 Test result of restored deflection

施工管理試験結果を Table 8 に示す。この結果から、曲げ強度、透水係数とも目標値を満足しており、また SFRC の曲げタフネスは鋼繊維未混入のものに比べ 2 倍強の値であり、良好な結果を得た。また、施工にあたっては、配合が超硬練りコンクリートとなっていることから、転圧コンクリート舗装工法を適用することが可能となり、施工の迅速性が図れた。

転圧コンクリート舗装工法を適用することにより、アスファルト舗装用の施工機械がそのまま使用でき、施工の迅速化、省力化、高品質化を図ることが可能となった。

8. 結果と考察

(1) 追跡調査結果

施工後、3ヶ月、6ヶ月、12ヶ月、18ヶ月経過した時点で追跡調査を実施し、得られた結果に考察を加えた。調査項目は、次の通りである。

1) 切り取り供試体による室内透水試験結果

切り取り供試体による室内透水試験結果 (Fig.9) から、空隙率 12% 程度を境として透水係数が経時変化しやすい領域とそうでない領域とに大別されることが分かる。隣接地からの残土搬出のため、ダンプトラックが 6ヶ月後の調査の時点で既に走行しており、表面上の目詰まりはこの時点で発生した。1年後に高圧洗浄水で清掃を

Table 9 Result of backward calculation

A工区 (鋼纖維混入タイプ)

測定位置	たわみ量 (1/1000mm)	弾性係数 (kgf/cm ²)		
		C.層(E 1)	路盤(E 2)	路床(E 3)
A10WP	171	674000	2400	1400
A20WP	188	463000	4600	1300
A30WP	221	324000	5200	1200
A40WP	247	368000	1600	1100
A50WP	262	420000	900	1000
A11WP	176	282000	18100	1300
A21WP	180	548000	3200	1400
A31WP	204	343000	6400	1200
A41WP	230	310000	5500	1100
A51WP	249	411000	2300	1000
平均値	213 [32]	414000	5000	1200

() 標準偏差

B工区 (鋼纖維未混入タイプ)

測定位置	たわみ量 (1/1000mm)	弾性係数 (kgf/cm ²)		
		C.層(E 1)	路盤(E 2)	路床(E 3)
B10WP	213	402000	1000	1400
B20WP	212	378000	3000	1400
B30WP	212	339000	4800	1200
B40WP	240	387000	3700	1100
B50WP	211	357000	5300	1300
B11WP	219	373000	5200	1400
B21WP	234	360000	6100	1400
B31WP	223	299000	3500	1300
B41WP	221	387000	3600	1300
B51WP	205	320000	10000	1300
平均値	219 [11]	360000	4600	1300

() 標準偏差

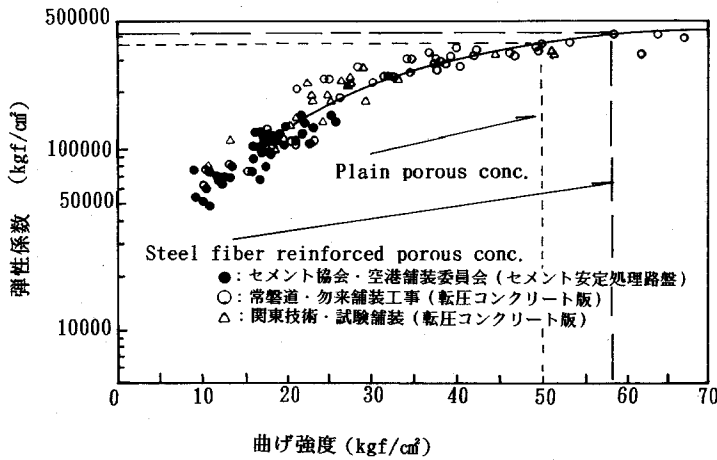


Fig.11 Relationship between bending strength and elastic modulus¹⁰⁾

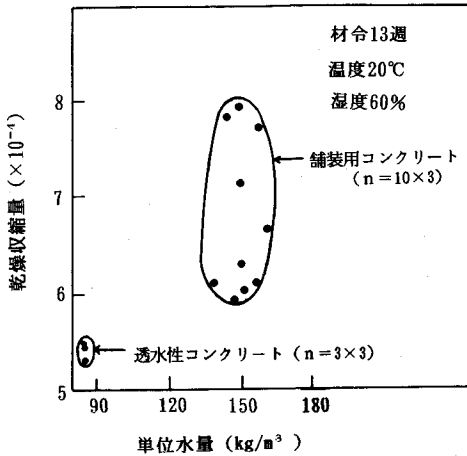


Fig.12 Test result of drying shrinkage

施したが、目詰まりが回復した箇所としない箇所に分かれた。これも10~18%に分布する空隙率の相違が影響しているものと思われる。

2) ベンケルマンピームによるたわみ量試験

復元たわみ法により、版の影響範囲を考慮して、試験機を2台使用して測定した。たわみ量は、経時変化では

減少傾向が認められるものの、ほぼ同一の測定値であり、通常のコンクリート舗装版のたわみ量に比べると若干大きな値となるようである (Fig.10)。

3) Falling Weight Deflectometer による調査

I) 弾性係数

12ヶ月経過後A, B各工区とも10点の測定位置ごとにたわみ量測定を実施した。各測定位置のたわみおよびその形状の結果から、各層の弾性係数を、多層弾性理論の逆解析により推定した結果をTable 9に示す。A, B工区とも各測定位置の推定した各層の弾性係数は、パラッキが若干ある結果となっている。これは、各測定位置で計測されたたわみ及びコンクリート層厚のパラッキによるものであると推察される。A工区の透水性コンクリートの弾性係数は、B工区のもの弾性係数と比較すると同等以上の値となっており、平均値で見ると約10%程度大きくなっている。透水性コンクリートに鋼纖維混入による支持力効果が認められる。

II) 曲げ強度

一般にコンクリートの強度から弾性係数を推定しているが、その逆に弾性係数から曲げ強度を検討した。曲げ強度の推定にあたっては、Fig.11に示す曲げ強度と弾

性係数の関係が、透水性コンクリートにもあてはまることと仮定して、逆解析から求めた各測定位置の弾性係数の平均値に対する曲げ強度を推定した。結果は、プレーンコンクリートで約 50 kgf/cm²(4.9 MPa) となり、SFRC で約 58 kgf/cm²(5.68 MPa) 以上と予測される。

Ⅲ) 耐久性

先に得られた弾性係数を用い、5 ton(49 KN) 輪荷重における透水性コンクリートの底面に生ずる引張応力を層構造解析から計算すると、A 工区のコンクリートで 22.3 kgf/cm²(2.19 MPa) で、B 工区で 21.9 kgf/cm²(2.15 MPa) となり、共に曲げ強度の 50% 以下であり、A、B 工区とも十分な耐久性を持つことが確認された。

なお Fig.12 は単位水量と、乾燥収縮量の関係を示したものであるが、通常の舗装用コンクリートに比較し、透水性コンクリートのそれは著しく小さいことが認められた。

9. 結 論

以上、本研究で得られた成果について要約すると以下のようである。

1) 透水性舗装による雨水流出抑制対策調査結果、及び降雨モデル抑制効果の推定からピーク流出量で 15%、総流出量で 15% の抑制が期待できる。このことは下水道流域整備、及び河川整備等に対して事業費の低減を図り、また豪雨時においては極めて有利となる可能性をもつ。

2) 鋼繊維で補強された透水性コンクリートは、透水性プレーンコンクリートと比較して、曲げ強度及び耐久性に優れており、車道用(重交通量)に適用できるものと思われる。

3) 鋼繊維で補強した透水性コンクリートは、通常の鋼繊維コンクリートと同じく、一体として荷重を支持し、版としての機能を有している。

4) 配合設計時に設定した空隙率 14% は、これまでの追跡調査結果から妥当な値であったことを確認することができた。

5) 透水性コンクリートの乾燥収縮量は通常の舗装用コンクリートより小さい。また、目地間隔が通常より大きいにもかかわらず施工後ひび割れ発生していないことから、抵抗性と優れた抑制能力及び耐荷力を有しているものと思われる。

6) 通常のアスファルト舗装用機械で透水性コンクリートを舗装することができ、硬練りのため転圧施工が可能となり迅速化、省力化が可能となる。

10. あとがき

透水性舗装の現状と将来的展望は、我が国の舗装分野における水と緑と都市環境との係わりの中で、今後ますます

発展することが予測される。

すなわち、近年過密化の進む都市の中で、透水性舗装は、都市の住環境の改善、及び都市防災面等の環境工学上からも多角的な利点を有し、その適用範囲も、歩道の舗装のみならず駐車場、公園、広場、空港等に及ぶ。一方、我が国の道路舗装の現状は、アスファルト舗装に比較し、コンクリート舗装の施工範囲は限定されているものの、コンクリート舗装は、重交通、高速化の時代にあつて、今後とも進展する要素を十分に備えている。これらの情勢を踏まえて、重交通用道路を目的とした透水性コンクリート舗装の開発は、時宜を得た方策であると考えられる。

重交通に耐えるためにコンクリートの物性の改良を図るため、鋼繊維・ポリマー等の混入により、強度、タフネス等の改善はもとより、施工性においても、転圧施工の採用により、迅速化、省力化、高品質化等を図ることもできるが、一方でコスト高、あるいはローラー転圧工法による所定の強度、空隙率の確保等の施工管理方法の確立などまだ解決すべき問題は多い。

また設計法、コンシステンシー評価、目詰まり問題、コンクリートの劣化等、維持管理における問題点も未解決といえよう。施工後の追跡調査も含めて今後の研究課題としたい。

謝 辞：本研究にあたって、御指導と御助力を賜りました、東京大学名誉教授(現千葉工業大学)小林一輔教授、ならびに鹿島道路技術研究所の関係各位に深甚の謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小林一輔：繊維補強コンクリート，最新コンクリート技術選書 8，山海堂，pp.20～58，1987 年。
- 2) 三浦裕二：透水性舗装の現況，土木学会誌 Vol. 62，No. 5，pp.63～69，1978 年 5 月。
- 3) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，1984 年改訂版，1984 年。
- 4) 日本道路建設業協会：透水性舗装ハンドブック，山海堂，1979 年。
- 5) 小山隆紹・藤田昌一：新しい下水道方式の計画と設計，鹿島出版会，pp.56～70，1984 年。
- 6) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針，1985 年。
- 7) 横川貢雄・岩井茂雄・三浦裕二・小久保聡：透水性舗装の騒音低減効果に関する実験的研究，土木学会第 43 回年次学術講演会概要集，第 4 部，pp.422～423，1988 年 10 月。
- 8) 中村純平・坂田廣介・橋本啓三郎：鋼繊維で補強したセメント系透水性コンクリート舗装，土木学会第 45 回年次学術講演会概要集，第 5 部，pp.142～143，1990 年 9 月。
- 9) 中村純平・坂田廣介・橋本啓三郎：鋼繊維補強コンクリートによる車道用透水性舗装の開発と施工，土木施工，

EXPERIMENTAL STUDY ON STEEL FIBER-REINFORCED POROUS-CEMENT CONCRETE PAVEMENT

Junpei NAKAMURA and Yuji MIURA

For the over populated cities, the use of a permeable pavement is considered to be efficient in environmental engineering, for example, improvement of living environment, prevention of urban disaster and so on. Not with standing those social needs, the present permeable pavements are built mainly of an asphalt paving and their applications are limited to pedestrian walks and light traffic roads. In this paper the mechanical properties of permeable pavements applicable to heavy traffic roads were studied and a fiber reinforced permeable cement concrete pavements with stainless steel was developed with the aim of improving its bending strength and toughness. For purposes of its practical use, a field test was carried out based on the results of several laboratory examinations. The permeable plain concrete pavement was constructed in order to compare with the steel reinforced one.

Results of the investigation for 18 months after construction showed that the steel reinforced pavement was superior in bending strength, toughness, crack restriction to the plain one. As a conclusion, a new type of permeable pavement for vehicle trafficked roads was proposed using a roller compaction method. The design method, high cost, upkeep of porosity remained for the future discussion.