

第 2 1 回セミナー

【研究プロジェクト名】 ハイブリッド型繊維補強コンクリート舗装に 関する研究プロジェクト

近畿大学 理工学部 社会環境工学科 教授

プロジェクトリーダー 東山 浩士

プロジェクト幹事 藤森 章記

プロジェクト副幹事 佐々木 庸志

プロジェクト当初参加メンバー

学： 東山 浩士 (近畿大学)，プロジェクトリーダー
水越 睦視 (神戸市立工業高等専門学校)，プロジェクトサブリーダー
山田 優 (大阪市立大学名誉教授)，アドバイザー

産： 藤森 章記 (奥村組土木興業株式会社)，プロジェクト幹事
佐々木庸志 (奥村組土木興業株式会社)，プロジェクト幹事補佐
五反田宏幸 (奥村組土木興業株式会社)
高原 良輔 (奥村組土木興業株式会社)
辻森 和美 (大林道路株式会社)
有賀 公則 (大林道路株式会社)
森石 一志 (大林道路株式会社)
草薙 博明 (大成ロテック株式会社)
中塚 将志 (大成ロテック株式会社)
白濱 幸則 (世紀東急工業株式会社)
遠藤 大樹 (住友大阪セメント株式会社)

官： 小林 正治 (国土交通省近畿地方整備局道路部)
宇佐美光博 (国土交通省近畿地方整備局道路部)
浦本 康仁 (国土交通省近畿地方整備局道路部)
小林 征治 (国土交通省近畿地方整備局道路部)
奈良 明彦 (国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所)
山崎 裕治 (国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所)
福宮 一仁 (国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所)

研究背景

長寿命コンクリート
舗装の普及促進

(道路延長の約5%)

- ▶ 限られた財源による社会基盤の整備, 維持管理
- ▶ 持続可能な社会の構築
- ▶ 低(脱)炭素社会への寄与

コンクリート舗装のメリット

- ▶ 高い耐久性
- ▶ LCCの廉価
- ▶ 大型車の燃費向上
- ▶ ヒートアイランド現象の抑制

コンクリート舗装のデメリット

- ▶ 初期コスト増
- ▶ ひび割れ発生, 腐食
- ▶ 目地部の段差
- ▶ 養生期間の確保
- ▶ 騒音問題

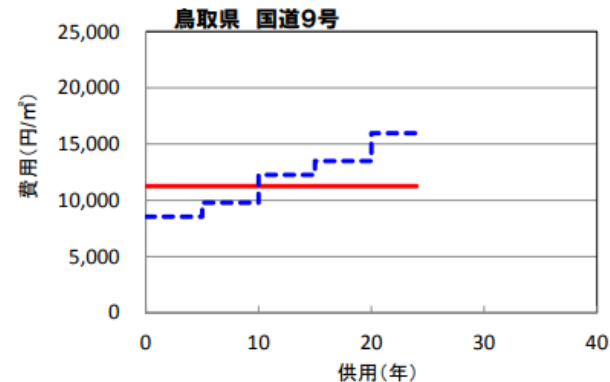
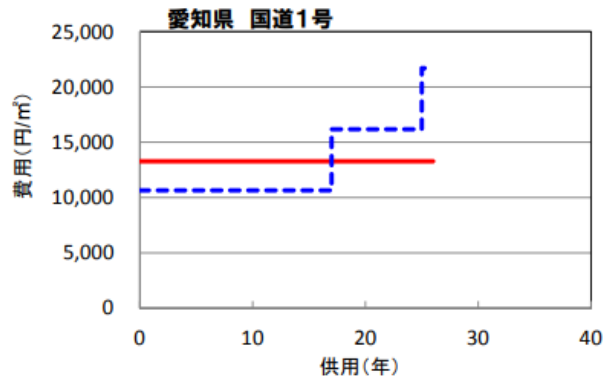
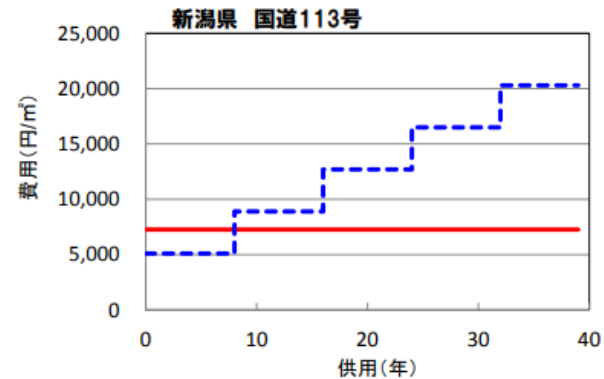
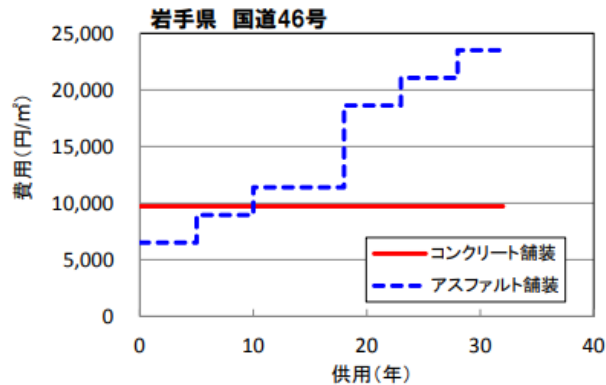
研究背景

3. コンクリート舗装は本当に高耐久なのか？

想定寿命：20年

耐久性が極めて高いコンクリート舗装

概ね10～20年でライフサイクルコスト(LCC)が逆転



研究背景

Prevention of Longitudinal Cracking Iowa Widened Concrete Pavement

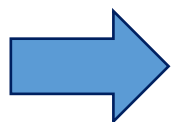
Final Report June 2018, Iowa State University, Institute for Transportation

水結合材比 (W/B)	40% 前後
フライアッシュ	20～35%

Fiber-Reinforced Concrete for Pavement Overlays: Technical Review

Final Report April 2019, Iowa State University, Institute for Transportation

鋼 or ポリプロピレン繊維	0.5～0.7vol. %
アスペクト比	50～100



補修対策として繊維補強コンクリートによるOverlay
New Highway Pavement Designに向けた動き

研究背景

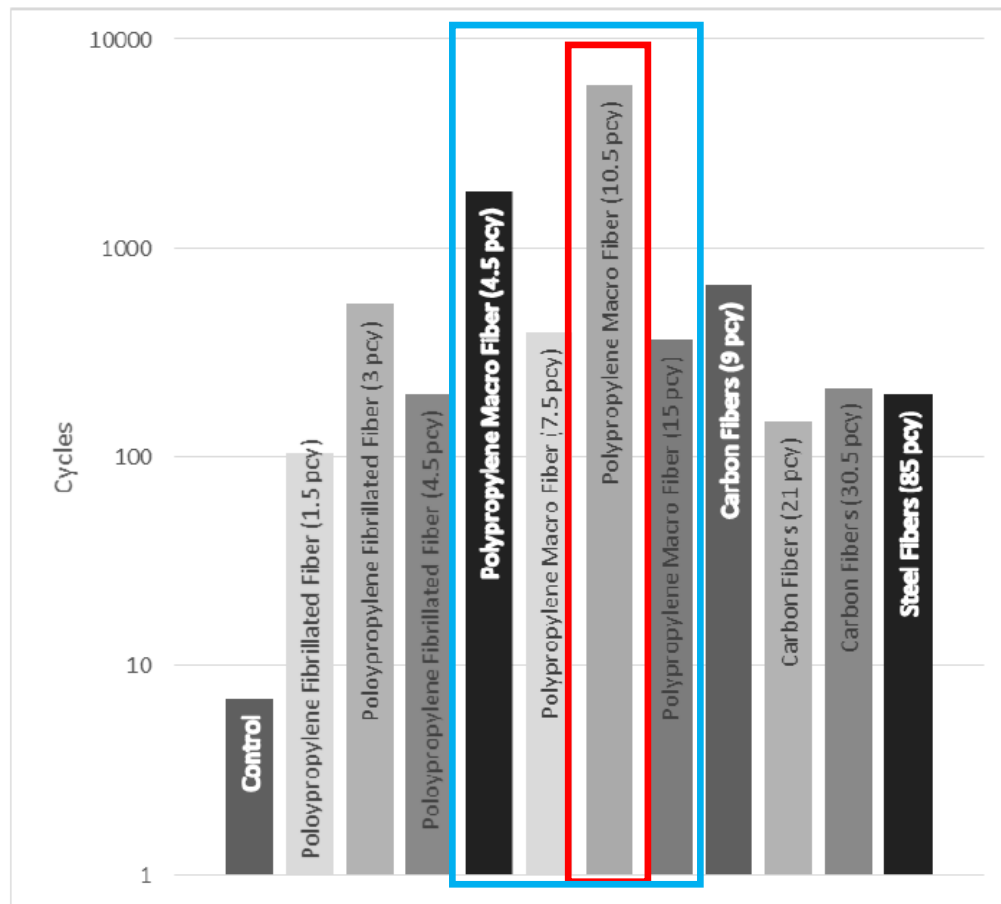


Figure 23
Comparison of different fiber dosages at 70 percent stress ratio

Louisiana Transportation Research Center
Evaluation of the Fatigue and Toughness of Fiber Reinforced Concrete for use as
a New Highway Pavement Design, Final Report 559

研究背景

Fatigue Resistance of Concrete Pavements

J. Roesler (2006), 6th Int. DUT- Workshop on Fundamental Modeling of Design and Performance of Concrete Pavements.

模擬路盤上に設置したコンクリート舗装の疲労試験

- コンクリート舗装と梁試験体における疲労強度の違い
- 試験体寸法（寸法効果），形状，境界条件などの影響

舗装用コンクリートの寸法効果を考慮した 曲げ疲労曲線の提案

吉本，亀田，佐藤 (2020)：土木学会論文集E1（舗装工学）

粗骨材寸法と曲げ疲労強度

伊藤，新見，吉本，佐藤 (2021)：土木学会全国大会V-5

研究背景

使用検討する繊維の種類

国内生産品

- ・ ポリビニルアルコール (PVA) 繊維 (クラレ)
- ・ ポリプロピレン (PP) 繊維 (バルチップ)
- ・ アラミド (AR) 繊維 (帝人)

コスト

- ・ Macro Fiber : PP > PVA > AR
- ・ Micro Fiber : PVA > PP > AR

PP : 1,500～2,600円/kg

PVA : 1,800～2,000円/kg

AR : 12,000円/kg

研究背景

▪ PVA纖維



▪ PP纖維



研究目的

目指すゴール：『コンクリート舗装のさらなる長寿命化と
設計マニュアル（案）の作成』

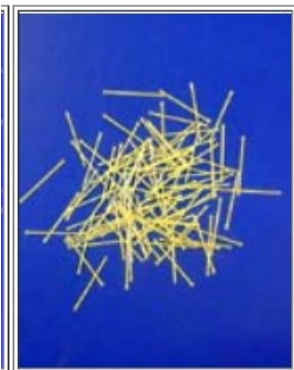
- ▶ ひび割れ幅制御
- ▶ 版厚抑制
- ▶ 鋼材腐食対策
- ▶ 路盤支持力と版挙動の把握
- ▶ 高耐久性を有する目地部
- ▶ 経済性，環境影響評価

ハイブリッド型
繊維補強コンクリート



ひび割れを許容したPost-cracking behavior, 残存強度に期待

Macro Fiber



+

Micro Fiber



⇒ シナジー効果

クラレ

http://www.kuraray.co.jp/pvaf/pro_07.html¹⁰

当初研究計画

令和3年度：

- ▶ 曲げおよびせん断に対する最適配合
- ▶ 曲げおよびせん断に対する疲労強度評価

令和4年度：

- ▶ 曲げおよびせん断に対する疲労強度評価
- ▶ 路盤支持力試験とコンクリート舗装の挙動
- ▶ 表面すべり抵抗，目地部段差などの走行安全性評価

令和5年度：

- ▶ 曲げ疲労強度およびせん断強度評価
- ▶ 試験施工によるコンクリート舗装の挙動・性状調査
- ▶ 経済性，環境影響評価，設計手法の検討および手引き（案）の作成

研究の特徴

- ▶ 国内での繊維補強コンクリートの適用研究は少ない
- ▶ 疲労強度特性を考慮した設計検討
- ▶ 版厚抑制やひび割れ抵抗性の向上を期待
- ▶ 初期コストの増大を長寿命化によるLCC評価でカバー
- ▶ 経済性, 環境影響評価による比較

研究成果への期待

- ▶ 長寿命化コンクリート舗装（目標50年以上）の実現
- ▶ 版厚低減，フライアッシュ混和などによる環境負荷低減
- ▶ 繊維補強コンクリートの特徴を考慮した設計手法の構築

研究成果

1. ハイブリッド型繊維補強コンクリートの配合検討

プレーンコンクリートの基本

水結合材比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)
40	50	165

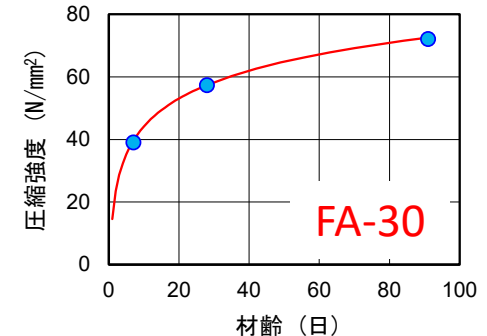
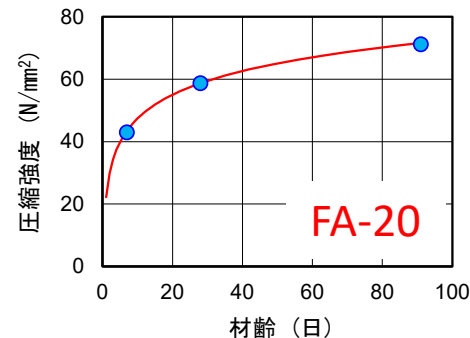
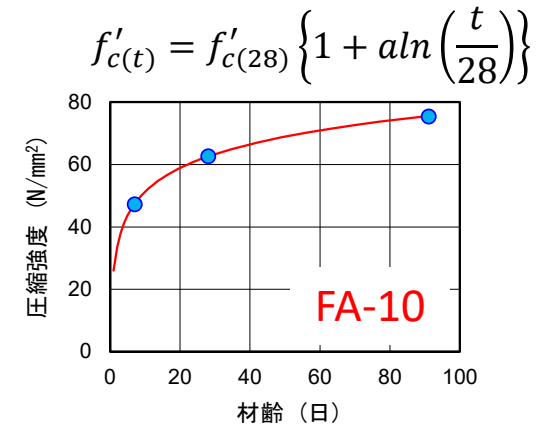
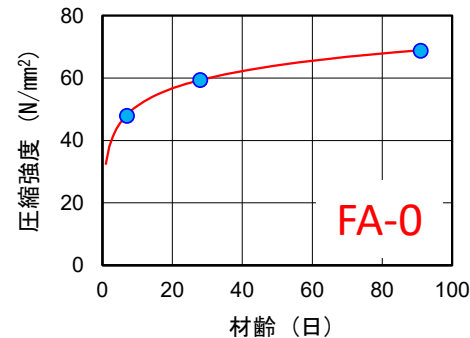
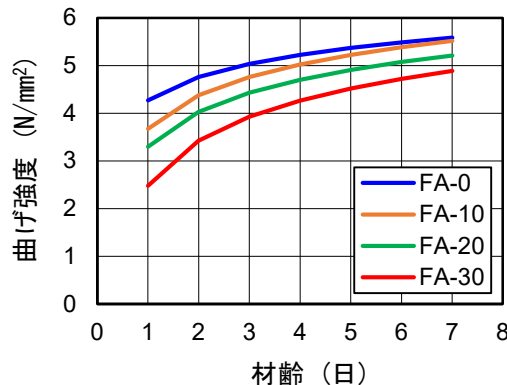
* 鋼繊維補強コンクリート設計施工
マニュアル（道路舗装編）を参照

フライアッシュコンクリートの配合

供試体	FA置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	C	FA	S	G
FA-0	0	165	413	0	849	859
FA-10	10	165	372	41	842	854
FA-20	20	165	330	83	834	846
FA-30	30	165	289	124	826	838

フライアッシュコンクリートの圧縮強度と曲げ強度

供試体	圧縮強度 (N/mm ²)		
	σ_7	σ_{28}	σ_{91}
FA-0	47.9	59.4	68.7
FA-10	47.2	62.6	75.4
FA-20	43.0	58.7	71.2
FA-30	39.0	57.4	72.1

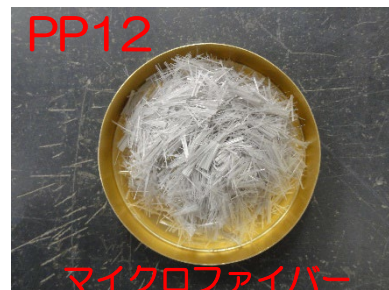


$$f'_{c(t)} = f'_{c(28)} \left\{ 1 + a \ln \left(\frac{t}{28} \right) \right\}$$

研究成果

繊維補強コンクリート

繊維	繊維長 (mm)	直径 (mm)	アスペクト比	比重	弾性率 (kN/mm ²)	設計価格
PVA30	30	0.670	45	1.30	23.00	2,000円/kg
PVA12	12	0.038	316	1.30	41.00	1,900円/kg
PP30	30	0.700	43	0.91	8.00	1,500円/kg
PP12	12	0.0648	185	0.91	5.00	2,637円/kg



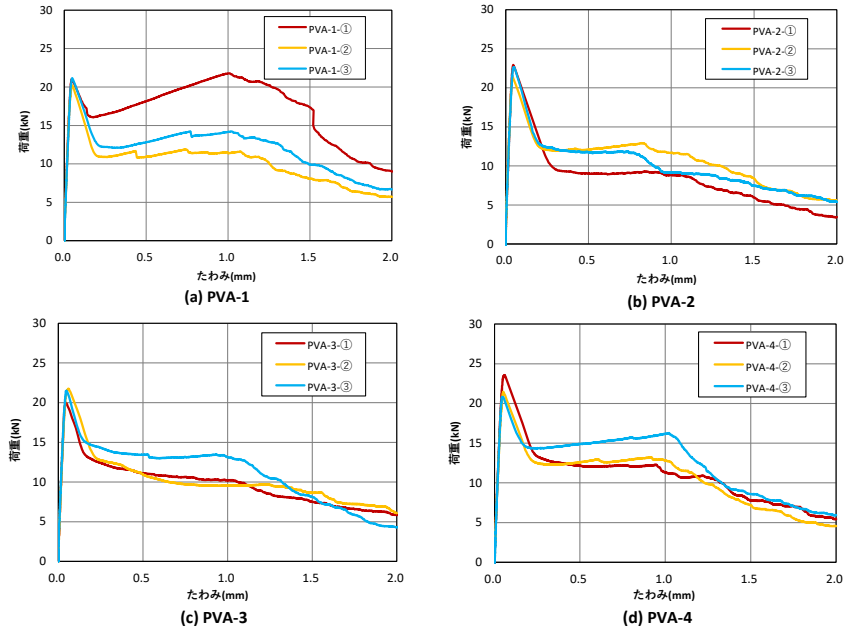
繊維混入率

供試体	PVA30 vol. %	PVA12 vol. %
PVA-1	1.0	0.0
PVA-2	0.9	0.1
PVA-3	0.8	0.2
PVA-4	1.0	0.1

供試体	PP30 vol. %	PP12 vol. %
PP-1	1.0	0.0
PP-2	1.0	0.1
PP-3	1.3	0.0
PP-4	1.3	0.1

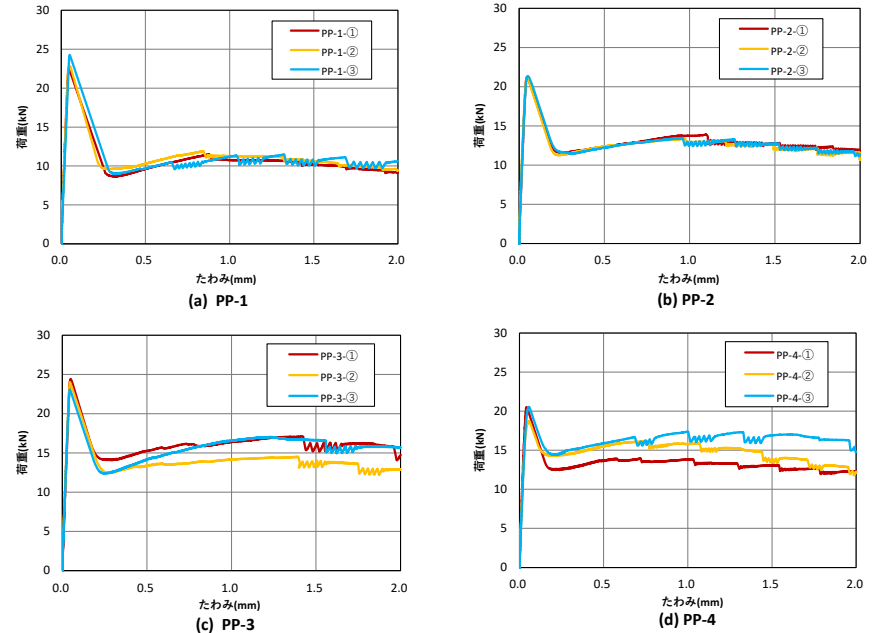
研究成果

PVA繊維補強コンクリート（材齢28日）



供試体	PVA30 vol. %	PVA12 vol. %	曲げ強度 (N/mm^2)		曲げ靱性係数 (N/mm^2)	
			f_{b7}	f_{b28}	$\bar{f}_{b7}$	$\bar{f}_{b28}$
PVA-0	—	—	4.43	6.00	—	—
PVA-1	1.0	0.0	4.67	6.06	3.82	3.47
PVA-2	0.9	0.1	5.10	6.57	3.24	3.11
PVA-3	0.8	0.2	4.54	6.14	2.94	3.24
PVA-4	1.0	0.1	4.85	6.40	3.00	3.54

PP繊維補強コンクリート（材齢28日）



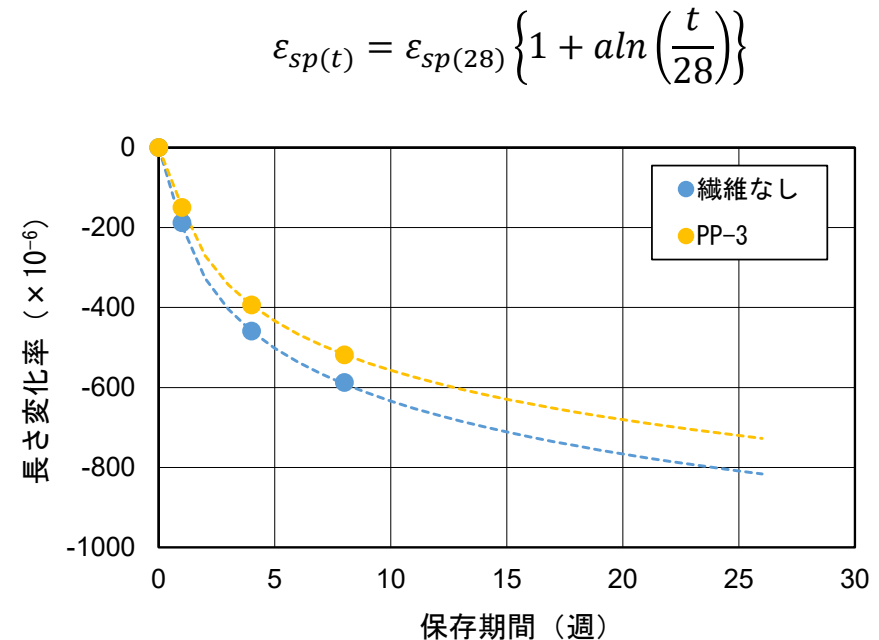
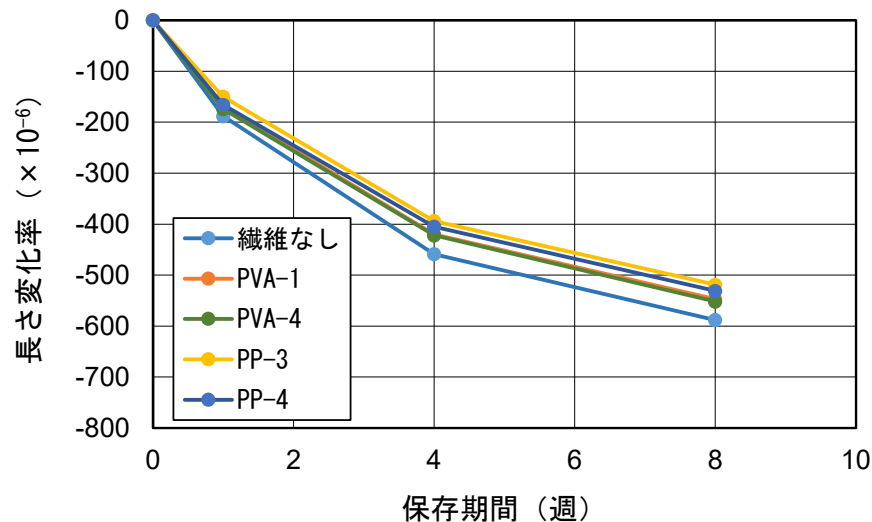
供試体	PP30 vol. %	PP12 vol. %	曲げ強度 (N/mm^2)		曲げ靱性係数 (N/mm^2)	
			f_{b7}	f_{b28}	$\bar{f}_{b7}$	$\bar{f}_{b28}$
PP-0	—	—	4.43	6.00	—	—
PP-1	1.0	0.0	4.70	6.77	3.11	3.53
PP-2	1.0	0.1	4.66	6.19	3.16	4.04
PP-3	1.3	0.0	4.91	6.80	4.08	4.71
PP-4	1.3	0.1	4.47	5.75	3.38	4.59

曲げ強度，曲げ靱性にマイクロ繊維の効果は見られない。PPはマイクロ繊維による強度低下が見られる。
PVAではPVA-1，PVA-4を，PPではPP-3，PP-4を検討対象とした。

研究成果

ハイブリッド型繊維補強コンクリートの乾燥収縮試験

供試体	PVA30orPP30 vol. %	PVA12orPP12 vol. %
PVA-1	1.0	0.0
PVA-4	1.0	0.1
PP-3	1.3	0.0
PP-4	1.3	0.1

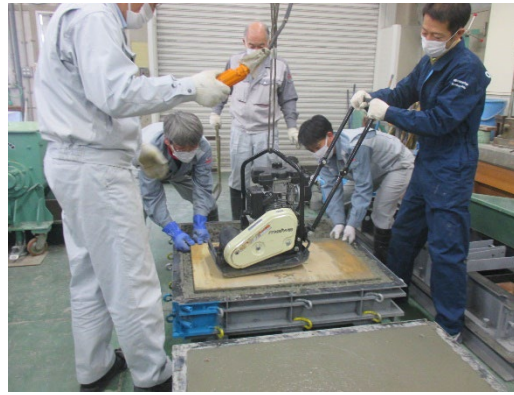
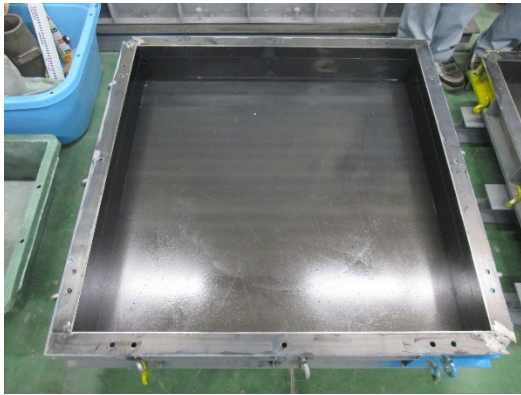


$$\varepsilon_{sp}(t) = \varepsilon_{sp(28)} \left\{ 1 + a \ln \left(\frac{t}{28} \right) \right\}$$

乾燥収縮に及ぼすマイクロ繊維の効果は見られない。
⇒ ハイブリッド化のメリットは少ない。

研究成果

曲げ強度特性に及ぼす繊維の配向および寸法効果の検討



研究成果

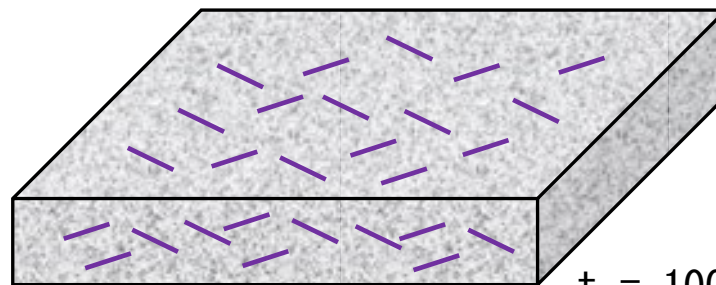
ランダム2D配向



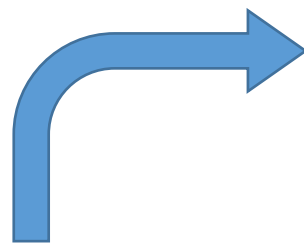
100x100x400

Formwork wall effect

ランダム3D配向

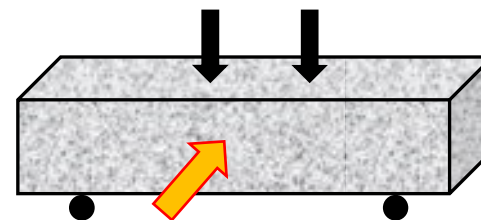


$t = 100, 150, 200\text{mm}$



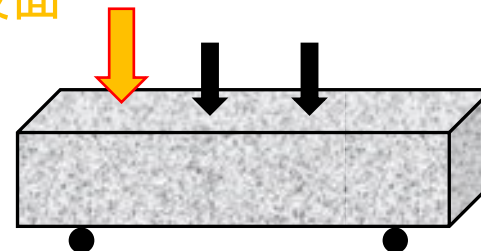
切出し梁による荷重試験

H series

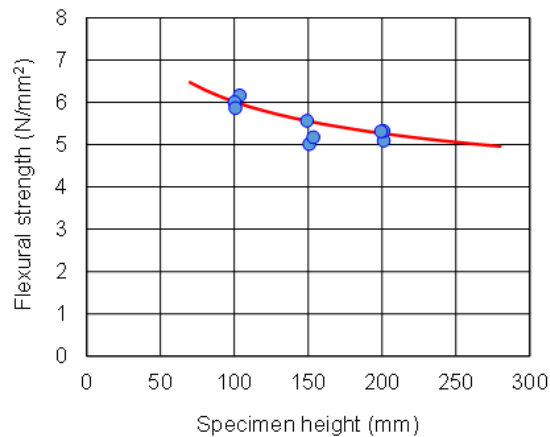


打設面

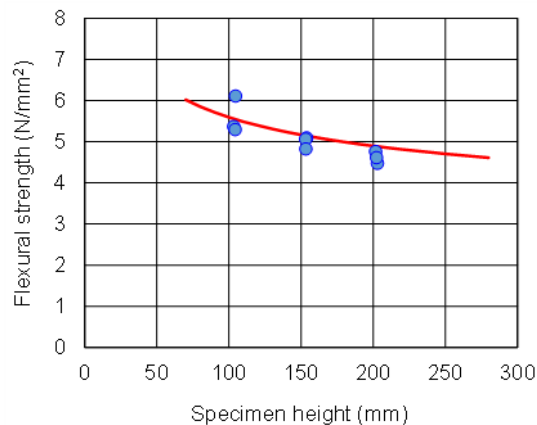
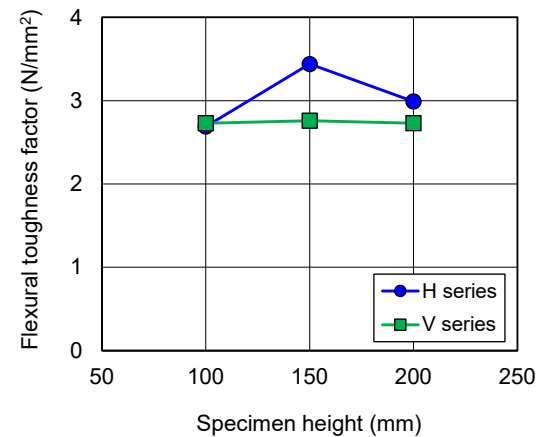
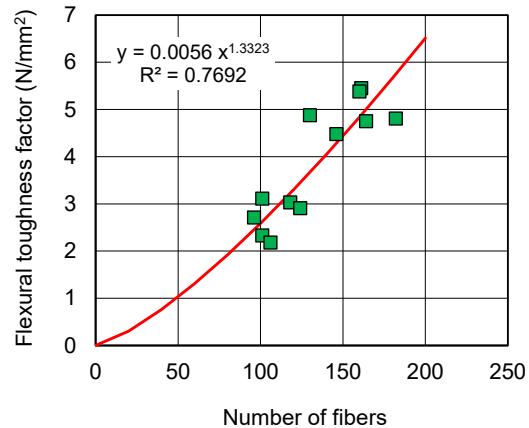
V series



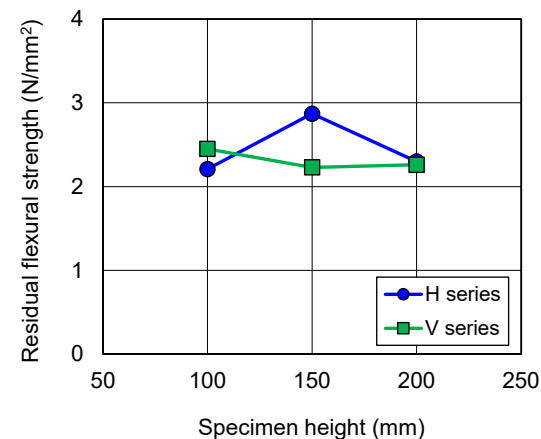
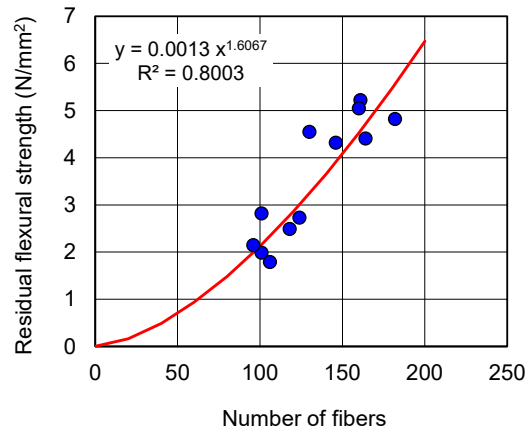
研究成果



H series



V series



曲げ強度の寸法効果

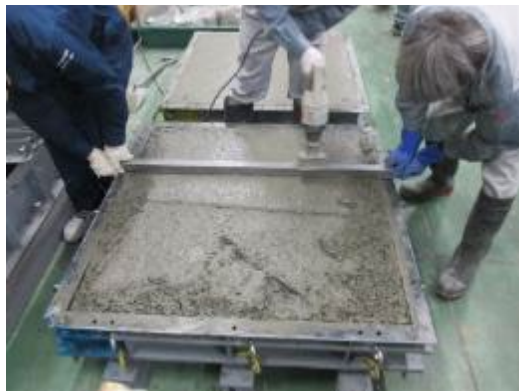
配向の影響

曲げ靱性の寸法効果

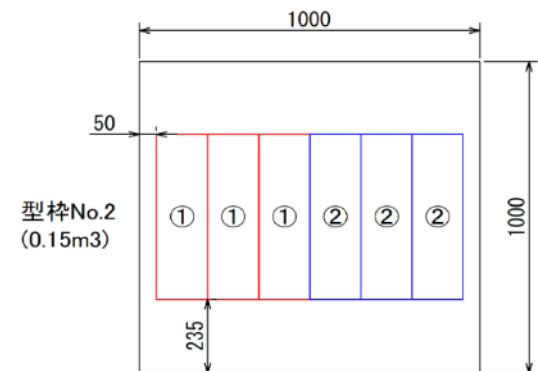
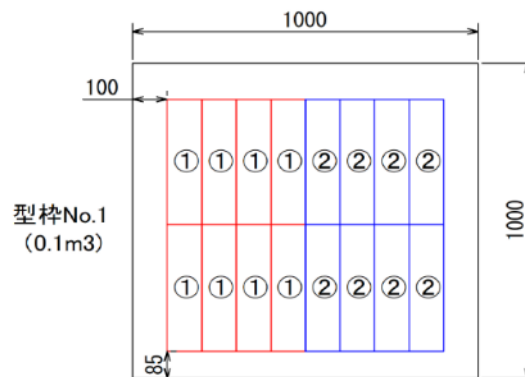
研究成果

曲げ疲労強度評価およびせん断強度評価

PPFRCの曲げ疲労強度評価



PPFRC打設状況



PPFRC角柱試験体切出し計画



100 × 100 × 400mm



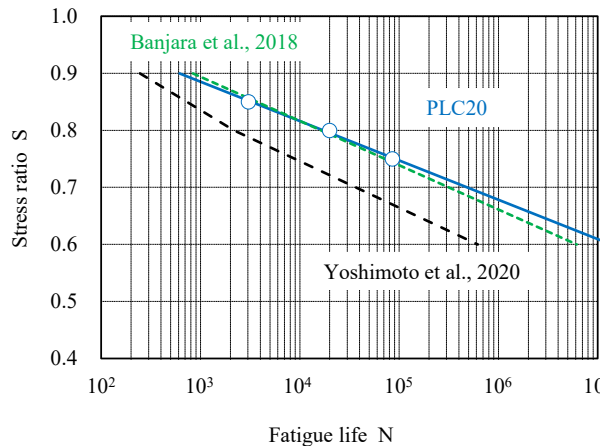
150 × 150 × 530mm



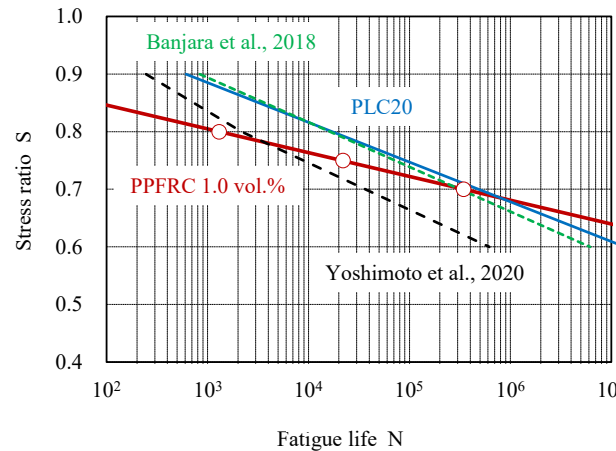
曲げ疲労試験

研究成果

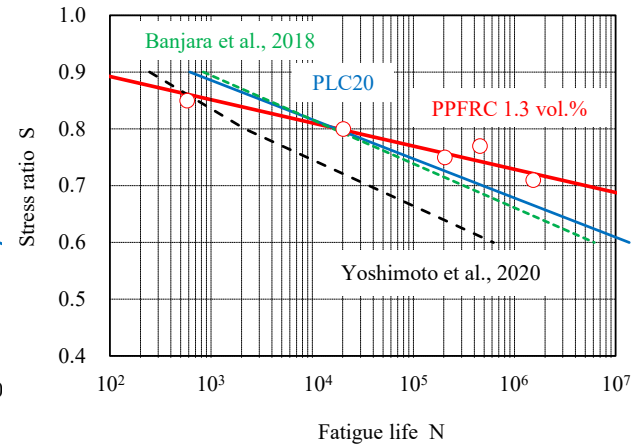
PPFRCの曲げ疲労強度



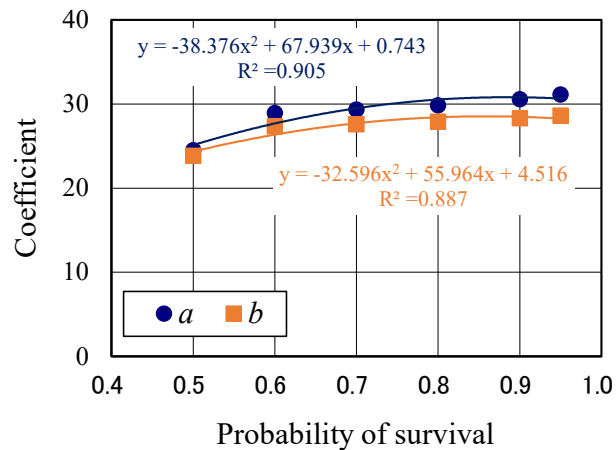
PLC20



PPFRC1.0vol.%



PPFRC1.3vol.%



$$\log N = -aS + b$$

PPFRC with 1.3 vol.%

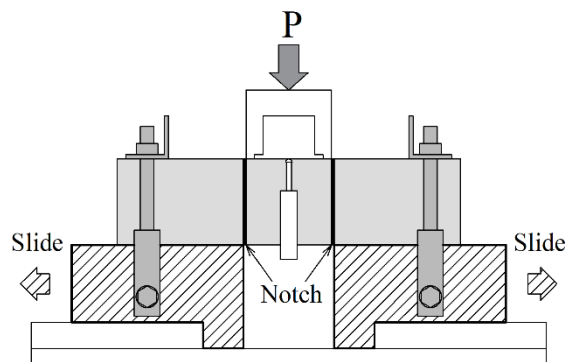
$$a = -38.376P_s^2 + 67.939P_s + 0.743$$

$$b = -32.596P_s^2 + 55.964P_s + 4.516$$

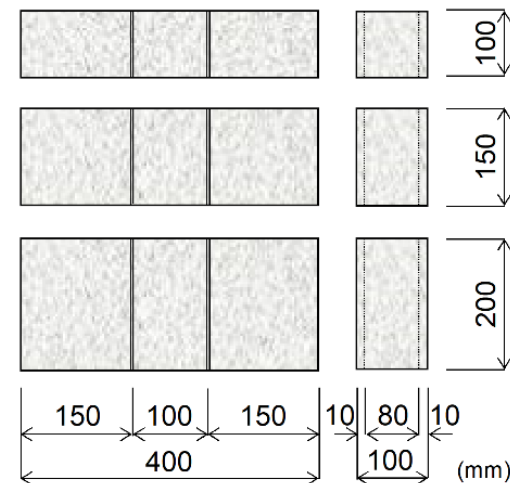
係数と非破壊確率の関係

研究成果

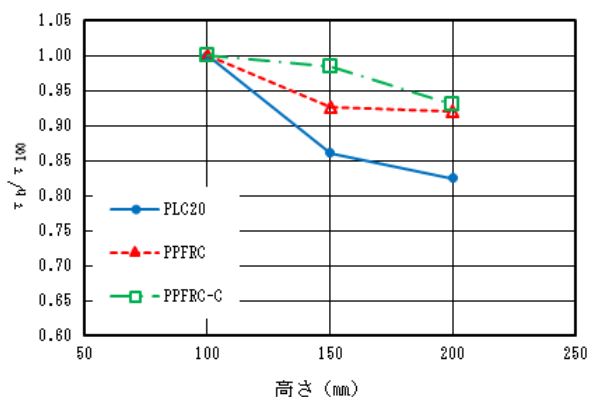
PPFRCのせん断強度



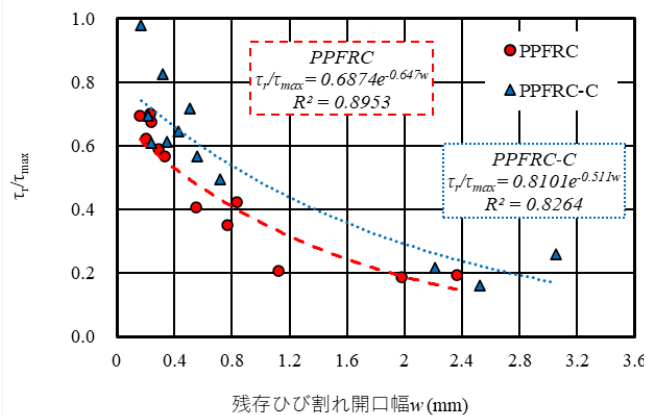
直接2面せん断試験



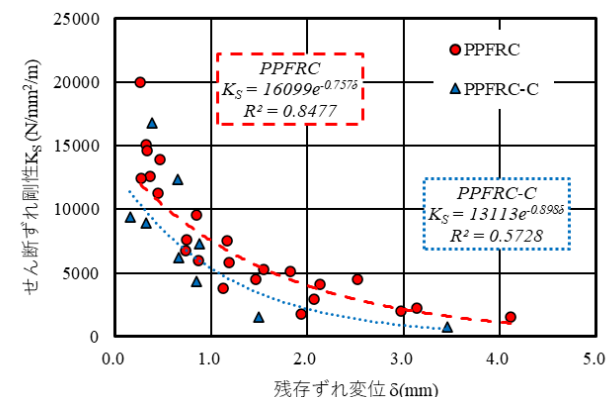
試験体



せん断強度の寸法効果



残存せん断強度とひび割れ幅



せん断ずれ剛性とずれ変位

研究成果

試験施工によるコンクリート舗装の挙動・性状調査

施工場所：近畿技術事務所内
施工時期：2022年12月16日

施工区間：20m×幅4m×舗装厚20cm
材料：PPFRC $V_f=1.3\text{vol.}\%$



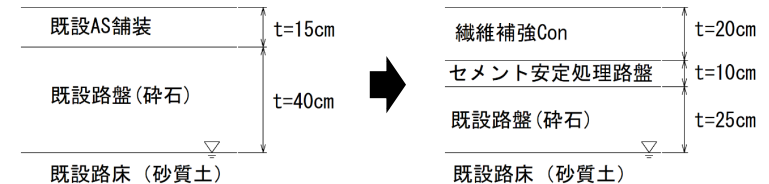
施工前現道



試掘調査



路盤改良（セメント安定処理）



簡易地盤調査



PPFRC



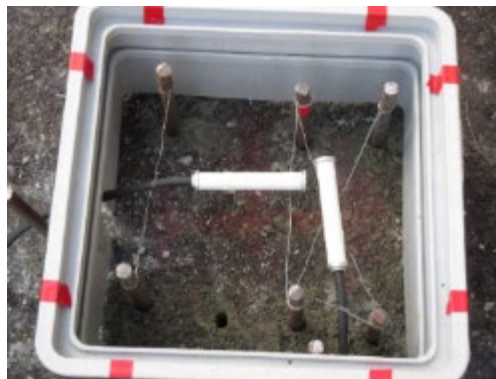
機械施工

研究成果

試験施工によるコンクリート舗装の挙動・性状調査



施工状況



センサー



表面粗仕上げ



表面仕上げ
(4種類作成)



施工完了

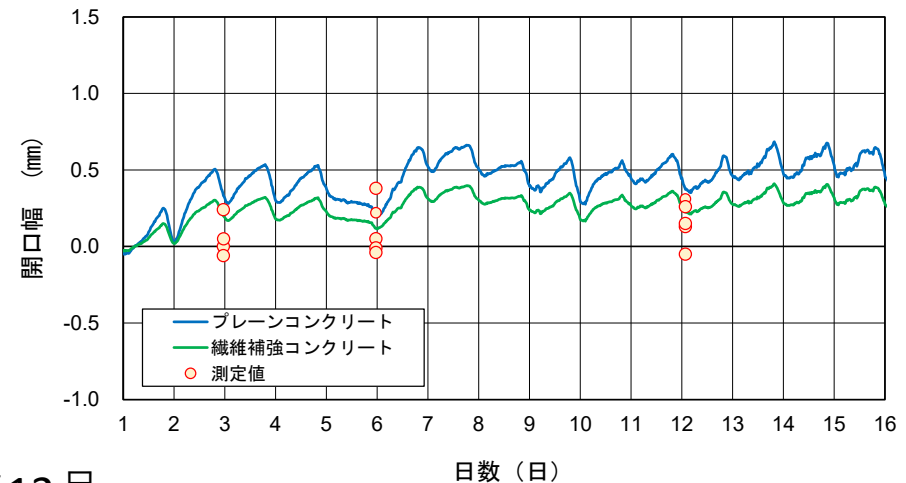
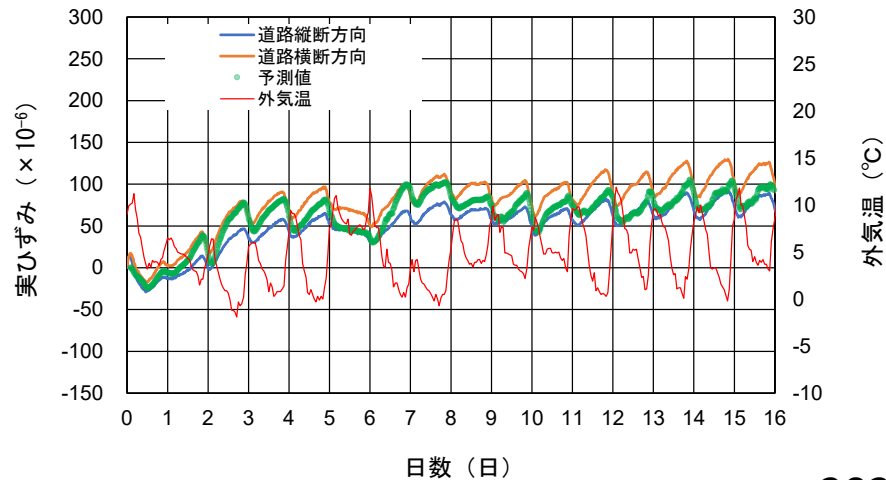


横収縮目地施工
(幅10mm, 深さ70mm)

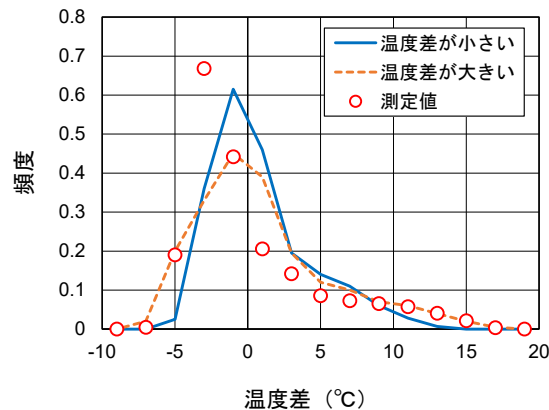
研究成果

試験施工によるコンクリート舗装の挙動・性状調査

(1) PPFRC版内部のひずみ，温度，横収縮目地部の開き



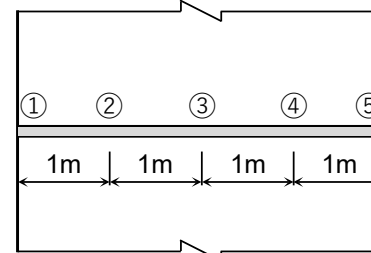
2022年12月



上下面温度差の発生頻度



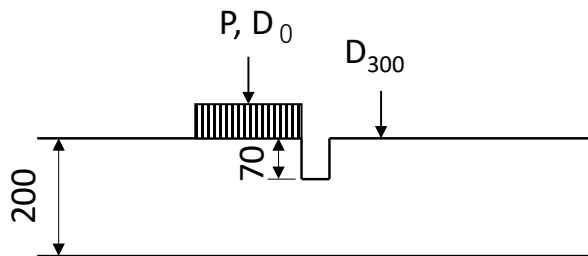
2023年8月9日確認



研究成果

試験施工によるコンクリート舗装の挙動・性状調査

(3) FWD試験による目地部の荷重伝達



ひび割れ前（2023年1月25日）

測点	落錘 (回)	気温 (℃)	路面 (℃)	荷重 (kN)	D0 (μ m)	D300 (μ m)	荷重伝達率 (%)
②49kN	1	3.6	11.4	48.98	132.2	121.8	—
	2	3.6	11.6	48.23	130.6	119.3	95.5
	3	3.6	11.2	49.33	133.7	122.8	95.8
	4	3.6	11.3	49.51	134.1	123.5	95.9
	2～4回の49kN換算平均			49.0	132.7	121.8	95.7
② 98kN	1	3.5	11.3	99.52	288.3	260.1	94.9
	2	3.5	11.3	97.31	287.1	254.4	94.0
	3	3.5	11.3	98.27	295.0	257.5	93.2
	4	3.5	11.00	96.82	298.6	254.4	92.0
	2～4回の98kN換算平均			98.0	295.2	256.8	93.1

ひび割れ後（2023年9月22日）

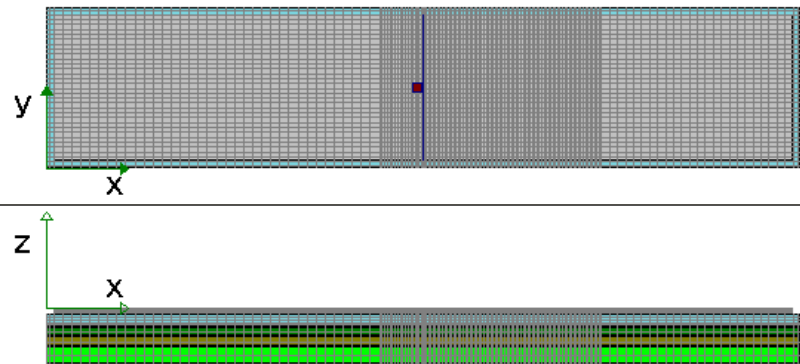
測点	落錘 (回)	気温 (℃)	路面 (℃)	荷重 (kN)	D0 (μ m)	D300 (μ m)	荷重伝達率 (%)
②49kN	1	27.9	35.2	48.61	140.2	128.8	—
	2	28.0	35.2	48.51	139.8	128.0	95.6
	3	28.0	35.2	49.67	144.0	132.1	95.7
	4	28.0	35.2	49.62	144.1	131.8	95.5
	2～4回の49kN換算平均			49.0	141.9	129.9	95.6
② 98kN	1	28.1	35.2	97.45	302.9	278.1	95.7
	2	28.1	34.9	96.92	297.7	277.1	96.4
	3	28.1	35.2	96.94	305.8	278.0	95.2
	4	28.00	35.20	97.38	307.7	279.2	95.1
	2～4回の98kN換算平均			98.0	306.6	280.7	95.6

研究成果

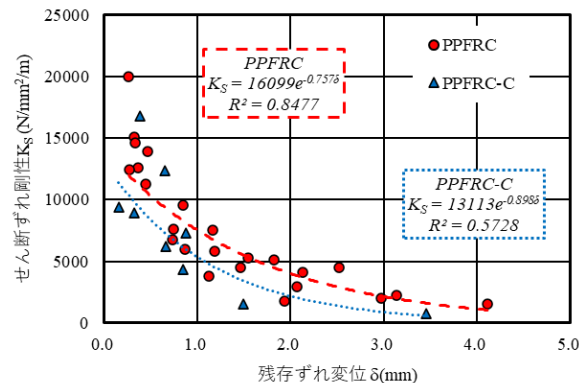
試験施工によるコンクリート舗装の挙動・性状調査

(3) FWD試験による目地部の荷重伝達

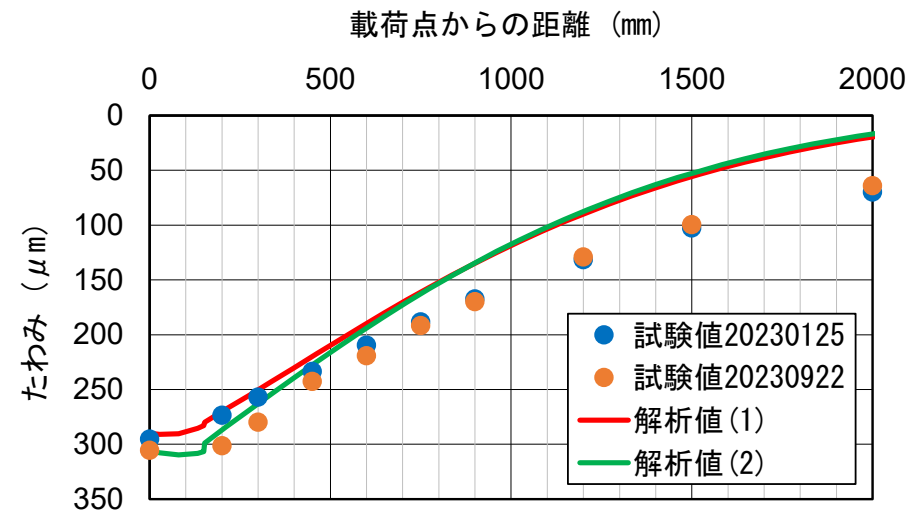
3DPaveプログラム



西澤辰男：3次元FEMに基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発，舗装工学論文集，Vol.5，pp.112-121，2000.



98kN載荷時たわみ分布



横収縮目地部の3方向バネ定数

ひび割れ発生前：5,000,000MN/m³（解析値(1)）

ひび割れ発生後

(0.778mm)：1,835,000MN/m³（解析値(2)）

研究成果

経済性, 環境影響評価

舗装設計便覧の構造設計例を参照した設計耐用年数の試算

表 5.1.2 コンクリート舗装の設計条件

項目	設定条件
舗装計画交通量	1,000 以上 3,000 未満 台/日・方向
疲労破壊輪数	表 5.1.3
ひび割れ度	10 cm/m ²
信頼度	90%
コンクリートの曲げ強度の特性値	6.4 N/mm ²
コンクリートの設計曲げ強度	5.3 N/mm ²
コンクリートのヤング係数	34,000 N/mm ²
コンクリートのポアソン比	0.2
コンクリートの温度膨張係数	10 x 10 ⁻⁶ 1/°C
車輪走行位置分布	表 5.1.4
大型車比率	表 5.1.5
路床支持力係数	K ₇₅ = 34 MN/m ³
路盤支持力係数	K ₇₅ = 100 MN/m ³
コンクリート版の温度差とその発生頻度	表 5.1.6
横収縮目地間隔	10 m
車線数	4
幅員	3.25 m

表 5.1.7 版厚と寿命予測結果

版厚 (cm)	寿命 (年)			
	PLC40	PLC20	PPFRC 1.0 vol. %	PPFRC 1.3 vol. %
21	-	-	-	-
22	-	-	-	2
23	-	-	-	11
24	-	-	-	23
25	-	5	-	82
26	-	14	-	489
27	2	29	-	
28	12	149	4	
29	20	201	6	
30	32		10	

研究成果

経済性, 環境影響評価

耐用年数 40 年での試算

表 4.1.1 舗装構成および使用材料の検討断面

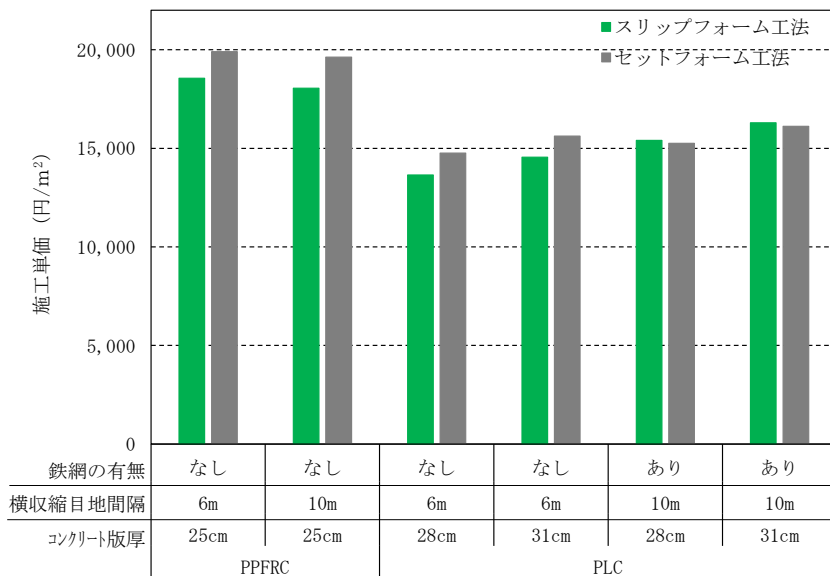
PPFRC コンクリート版厚 25(cm)	PLC コンクリート版厚 28・31(cm)	PLC コンクリート版厚 28・31(cm)
表層 繊維補強 コンクリート舗装 25cm プライムコート (PK-3) アスファルト中間層 密粒度(13) 4cm 路盤 C40-0 10cm 路床 ・横収縮目地間隔 6m, 10m ・鉄網なし	表層 舗装用コンクリート 28cm または 31cm プライムコート (PK-3) アスファルト中間層 密粒度(13) 4cm 路盤 C40-0 10cm 路床 ・横収縮目地間隔 6m ・鉄網なし	鉄網 (D6) 表層 舗装用コンクリート 28cm または 31cm プライムコート (PK-3) アスファルト中間層 密粒度(13) 4cm 路盤 C40-0 10cm 路床 ・横収縮目地間隔 10m ・鉄網あり

表 4.1.2 スリップフォーム工法の施工条件

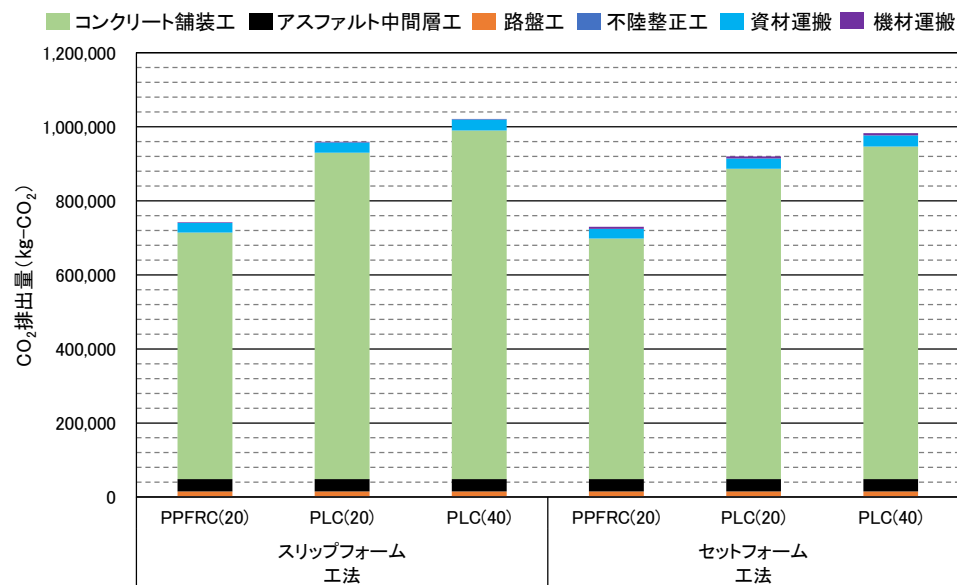
種類	繊維補強 コンクリート舗装		普通コンクリート舗装 鉄網なし		普通コンクリート舗装 鉄網あり	
	PPFRC		PLC		PLC	
鉄網の有無	なし		なし		あり	
施工延長(m)	530					
施工幅員(m)	10					
版厚(cm)	25		28	31	28	31
目地間隔	6	10	6		10	
表層(m ²)	5,300					
アスファルト中間層(m ²)	5,372					
路盤(m ²)	6,492					

研究成果

経済性, 環境影響評価



材料・鉄網・目地間隔・版厚の設定条件



研究成果

設計・施工の手引き(案)

「近畿地方整備局管内におけるコンクリート舗装技術資料（案）」を補間する手引き（案）

繊維補強コンクリート舗装の
設計・施工の手引き（案）

令和 6 年 6 月

新都市社会技術融合創造研究会

ハイブリッド型繊維補強コンクリート舗装に
関する研究プロジェクト

目次

1. 繊維補強コンクリート舗装の理論的設計	1
1.1 舗装構成および構造	1
1.2 繊維補強コンクリートの配合	3
1.3 繊維の配向・分散	4
1.4 静的曲げ強度と寸法効果	5
1.5 静的せん断強度と寸法効果	5
1.6 曲げ疲労強度	6
1.7 構造設計例	8
2. 繊維補強コンクリート舗装の施工	13
2.1 施工計画	13
2.2 舗装用コンクリートの製造と運搬	13
2.3 セットフォーム工法による施工	16
2.4 スリップフォーム工法による施工	18
2.5 目地	19
2.6 養生方法	20
2.7 交通開放	20
2.8 初期ひび割れ対策	20
参考文献	20

研究成果まとめ

1. ポリプロピレン繊維を1.3vol.%混入し、フライアッシュによりセメントを20%置換したポリプロピレン繊維補強コンクリート（PPFRC）の曲げ疲労強度は、プレーンコンクリートに比べて大幅に増大し、設計用S-N曲線を誘導した。また、せん断強度についても繊維の架橋効果による増大と寸法効果を有している。
2. 近畿技術事務所構内に試験施工したPPFRC舗装のひずみ挙動、横収縮目地部の開きを概ね予測できることを確認した。また、FWD試験による目地部のひび割れ発生後の荷重伝達率は80%以上を有している。
3. 耐用年数、環境影響に関する試算結果からは、PPFRC舗装は優位性を示したが、耐用年数によっては、経済性の観点で普通コンクリート舗装より増大する試算結果であった。また、繊維補強コンクリート舗装を検討する際の「近畿地方整備局管内におけるコンクリート舗装技術資料（案）」を補間する手引き（案）を作成した。

【研究プロジェクト名】
ハイブリッド型繊維補強コンクリート舗装に
関する研究プロジェクト

ご清聴ありがとうございました

近畿大学 理工学部 社会環境工学科 教授
プロジェクトリーダー 東山 浩士
プロジェクト幹事 藤森 章記
プロジェクト副幹事 佐々木 庸志