

# 鋼繊維補強コンクリートの吹付けに関する施工実験

大矢 一夫\*      松井 健一\*\*  
寺本 勝三\*\*\*    阿部 直\*\*\*\*

## 要 約

本実験は、鋼繊維補強コンクリートを吹付けに用いる場合に、鋼繊維の種類や添加量がコンクリートの性状や施工性にどのような影響を与えるかを、現場で乾式吹付け機（アリバ260）を用いて実際に吹付けて、調査することを目的として行ったものである。

実験の結果、鋼繊維補強コンクリートを吹付ける場合、機械設備などは従来の吹付けに対するものと変更する必要はなく、コンクリートとしては強度やリバウンドなどに優れていることを確認した。

## 目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 実験の計画
- § 3. 試験の方法と結果
- § 4. 考察

## § 1. まえがき

NA TM施工では地山掘削後ただちにコンクリートを吹付けて地山を被覆して、表面の風化を防ぎ、はた落ちを防ぐと共にロックボルトと併用して地山を支保する。この意味でNA TM施工における吹付けコンクリートの役割は大きい。

吹付けコンクリートの吹付け厚さは地山の状況により異なるが、通常は5～20cm程度で、厚いときには数層に分けて吹付けなければならず、剥落などの危険も大きくコスト高となる。これら吹付けコンクリートに要求される性状は、初期強度が大きく施工性が良いことである。

最近、吹付けコンクリートに鋼繊維を添加してその性状を改善しようとする試みがなされている。

吹付けコンクリートに鋼繊維を添加することの利点は

- 1) 強度の増加（特に曲げ強度、引張強度）
- 2) 吹付け厚さの減少
- 3) ひび割れの減少、タフネスの増加
- 4) 補修工の減少
- 5) 剥落や、リバウンドの減少

などである。

しかし、これらの性状や施工性については実施例も少なく、設計や施工に対するデータも少ない。吹付けコンクリートに関する諸性状はコンクリートを実際に吹付けて供試体を作成したり、施工性を判断することが不可欠である。

本実験は、鋼繊維補強コンクリートを吹付けに用いるにあたり、施工性やコンクリートの性状に関する基礎的な資料を得るために、各種の鋼繊維を添加したコンクリートを、トンネルの施工現場で実際に吹付けることにより実施したものである。以下実験の計画及び結果について報告する。

## § 2. 実験の計画

吹付けコンクリートの性状は吹付け方式や吹付け機の種類などに影響される。また、鋼繊維補強コンクリートも鋼繊維の種類や寸法及び添加量などに影響を受ける。この意味では実験の規模は相当大きくする必要があるが、今回の実験は、現場での施工に合わせて機械設備をそのまま利用したため、吹付け方式や機種などは限定され、乾式吹付け（セミ湿式）により実施した。

### 2-1 実験に用いた材料

実験に用いた材料は次のものであった。

#### (1) 鋼繊維

鋼繊維は製造方法により、せん断ファイバ、カットワイヤファイバ、切削ファイバなどに分かれる。鋼繊維の形状や寸法についても、各メーカーとも用途に応じて数種類製造している。今回の実験では表1に示すように製造方法の異った3銘柄8種類の鋼

\*技術研究部技術研究所副所長

\*\*技術研究部技術研究所

\*\*\*土木設計部設計課副課長

\*\*\*\*東北(支)下郷(出)副所長

表-1 実験に用いた鋼繊維

記号	寸法(mm)	種類
A-1	0.5×0.5×20	剪断ファイバ
A-2	0.5×0.3×25	
A-3	0.5×0.5×30	
B-1	φ 0.5×25	カットワイヤ
B-2	φ 0.4×25	
B-3	φ 0.45×25	
B-4	φ 0.4×20	
C	0.5×0.5×30	切削ファイバ

繊維を準備した。

(2)コンクリート材料

吹付けコンクリートの材料は次に示すものであった。

セメント：B種フライアッシュセメント

細骨材：砕砂，比重2.68，粗粒率2.83

粗骨材：豆砂利10mm以下，比重2.60，粗粒率4.99

混和剤：吹付け用急結剤（粉末）

（骨材のふるい分け試験の結果は表-2に示す）

2-2 吹付けコンクリートの配合

吹付けコンクリートの配合は現場で実際に施工しているものを基本として，これにそれぞれの鋼繊維を，1.0%，1.5%，2.0%添加することにした。吹付けコンクリートの計画配合は表-3に示すとおりである。

表-4に示すとおりであり，それらの配置は図-1に示すとおりである。

2-4 試験の項目

実験は鋼繊維補強コンクリートを乾式吹付け機（セミ湿式）を用いて吹付けるにあたり，従来の吹付けコンクリートの諸設備で施工が可能か否か，また吹付けられたコンクリートの性状とそれらに及ぼす鋼繊維の種類や添

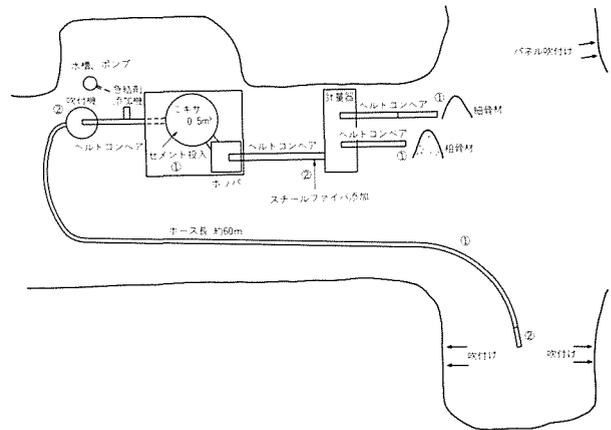


図-1 吹付け機械設備及び作業員配置

加量の影響を確認するために実施したもので，次に示す各項目について試験した。

1) ミキサによる鋼繊維の混合性

表-2 骨材試験成績表

種類	比重	吸水量 (%)	表面水 (%)	粗粒率	ふるい分け (重量%)							
					~10	10~5	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15以下
細骨材	2.68	2.1	6.2	2.83	0	0	10	25	28	20	11	6
粗骨材	2.60	3.0	2.2	4.99	0	33	48	10	5	2	1	1

表-3 吹付けコンクリートの配合

鋼繊維率 (%)	1 m³ 当りの材料 (kg)						W/C (%)	S/A (%)	混和剤率 (%)
	セメント	細骨材	粗骨材	急結剤	鋼繊維	水			
0	350	1527	368	10.5	0	(175)	(50)	80	3.0
1.0	350	1506	362	10.5	78	(175)	(50)	80	3.0
1.5	350	1496	359	10.5	117	(175)	(50)	80	3.0
2.0	350	1485	357	10.5	156	(175)	(50)	80	3.0

なお，今回の実験では鋼繊維を箱単位で計量したので，鋼繊維の種類や添加率により，1バッチ当りの練り混ぜ量は一定とはならず170~340ℓであった。

2-3 実験に用いた機械，設備

実験に用いた吹付け機械及びコンクリート製造設備は

表-4 吹付け機械及び設備

機械	型式，性能
計量器	容量1,000kg，最小目盛10kg，日本度量衡器社製
ミキサ	強制練り，0.5m³，37.5rpm，22kW，IHI，
吹付け機	乾式，ALIVA 260

- 2) 吹付けコンクリートの単位水量
- 3) 吹付けリバウンド率
- 4) 鋼繊維の吹付け付着率
- 5) 吹付けコンクリートの強度

### § 3. 試験の方法と結果

#### 3-1 ミキサによる鋼繊維の混合性

鋼繊維は種類や添加量及びミキサの型式や材料の投入方法などによって、混合性が異なり、場合によってはミキサ内で鋼繊維がからまり、いわゆるファイバボールの形成があるといわれている。また攪拌中に鋼繊維が折れたり曲がったりすることも予想される。これらの状況を調査するためにミキサで混合した材料より適宜試料を採取しそこに含まれる鋼繊維の量を測定しばらつきをチェックすると共に、鋼繊維の形状の変化を観察した。なお、今回の実験では鋼繊維は計量機よりミキサに至る骨材投入のベルトコンベアの上に、手でほぐしながら骨材の投入と同時に添加する方法を採用した。鋼繊維の投入に要した時間は平均して4～5分間であり、材料の攪拌は投入時間を含めて10分間程度であった。

試験の結果より、鋼繊維の分散性はいずれも良好で、数回採取したコンクリート中に含まれる鋼繊維量は計画量と比較していずれも±0.1～0.05%の範囲内にあり、今回の実験における材料の投入及び攪拌の方法やミキサの型式などは、鋼繊維の入った吹付けコンクリートのドライミックスには特に問題はなかったと考えられる。また攪拌中の鋼繊維の変形は鋼繊維の種類によってかなり差があり、特に切削ファイバの折れ(切断)が目立った。全般的な傾向としては繊維長の大きいもの程変形し易いようである。ファイバボールについてはBの鋼繊維の2%添加の場合にのみわずかにその傾向があり、吹付ける前に除去する必要があった。

鋼繊維の投入には分散機が用いられることもあるが、今回のように計量機よりベルトコンベアを用いて材料をミキサに投入するような型式のプラントでは、このベルトコンベアを利用して鋼繊維を手でほぐしながら投入する方法は、混合性試験の限りでは問題はないと考えられた。

#### 3-2 吹付けコンクリートの単位水量

乾式吹付け工法ではコンクリートの単位水量は、吹付け作業員によりノズル部で調節されて定まる。このため設計水量と施工された水量とは、ときとしてかなり異なる。吹付けられたコンクリートの単位水量を管理することは施工性やコンクリートの性状を判断するために重要である。このために実験では1バッチづつ区切って吹付

け、その間に使用した水量を計測した。

実験の結果より各配合の実質吹付け配合を表-5に示した。この結果、吹付けコンクリートの水セメント比は目標値の50%に比較して大きくなり、平均すると55.8%(48～67%、標準偏差4.5%、変動係数8.0%)であった。このことは鋼繊維を添加したための影響の他に吹付けを1バッチ毎に区切って施工したために、吹付け開始時と終了時から吹きする水量の影響があらわれ、全体的に水量が増加したと思われる。また、今回の実験に用いた骨材の表面水量はやや多く、細骨材で6%、粗骨材で2%あり、骨材に含まれる水がすでに目標とする単位水量の近くにあり、このことも吹付けコンクリートの単位水量の増加の一因となったと考えられる。これらの各影響は1バッチの吹付け量が少なかったことで一層大きくなったと考えられる。

今回の実験では鋼繊維の種類や添加量による単位水量の変化は認められなかったが、これは乾式吹付けのために鋼繊維によるコンクリートのコンシステンシーへの影響が直接にはあらわれなかったためであろう。乾式吹付けにより鋼繊維補強コンクリートを施工する場合、単位水量は特に変化させなくともよいと考えられる。

表-5 吹付けコンクリート吹付け配合

配合NO.	吹付け配合 (1m <sup>2</sup> 当りkg)					W/C (%)	1バッチの量(ℓ)
	セメント	細骨材	粗骨材	鋼繊維	水A+水B (A+B) ※		
1-1	365	1471	369	81.0	77.0+99.3 (176.3)	48.3	247
1-2	359	1448	363	79.7	91.7+97.7 (189.4)	52.7	251
2	351	1416	355	77.9	111.9+95.5 (207.4)	59.1	257
3	353	1425	357	78.4	106.3+96.1 (202.4)	57.3	255
4	352	1421	356	78.2	108.8+95.8 (204.6)	58.1	256
5-1	357	1441	361	0	106.3+97.2 (203.5)	56.9	252
5-2	374	1510	379	0	63.2+101.9 (165.1)	44.1	241
6	341	1376	345	75.8	136.8+92.8 (229.6)	67.3	264
7-1	348	1441	361	79.1	99.4+97.2 (196.6)	56.4	316
7-2	354	1465	367	80.5	84.0+98.8 (182.8)	51.6	312
8	353	1460	366	80.1	87.5+98.4 (185.9)	52.7	312
9	351	1451	363	79.7	93.1+97.8 (190.9)	54.4	314
10-1	353	1419	350	117.7	106.2+95.6 (201.8)	57.1	340
10-2	364	1462	361	121.3	79.1+98.5 (177.6)	48.8	330
11-1	371	1397	348	116.0	110.4+94.7 (205.1)	55.2	216
11-2	369	1390	346	115.4	115.0+94.2 (209.2)	56.6	217
12	349	1400	349	116.2	117.3+94.1 (211.4)	60.6	172
13	357	1425	357	158.7	94.4+96.0 (190.4)	53.3	252
14	346	1408	352	157.1	108.0+95.2 (203.2)	58.8	318

※水Aは吹付け時に使用した水量  
水Bは骨材の表面水量

### 3-3 吹付けリバウンド

吹付け工事におけるリバウンドは重要な要素を含む。リバウンド率に影響を与える要因には吹付け面の状況や施工方法などがあげられる。今回の実験では現場での都合により、垂直面であつ事前に吹付けを施工した上にさらに重ねて吹付けた場合のリバウンドを計測した。測定結果は表-6に示すとおりである。

結果より、鋼繊維の添加によるリバウンドの影響の程度は鋼繊維を添加しない配合のリバウンド率が大きかったことから比較の対象とはなり難い。しかし従来より吹付けコンクリートのリバウンドの実績は垂直面で15~25%といわれ、このことから考えると今回の実験でのリバウンド率は小さく、吹付け面の条件が良好であったことを除いても、鋼繊維を添加することにより吹付けコンクリートのリバウンド率は減少すると推定される。

### 3-4 鋼繊維の付着率

吹付けコンクリートの吹付け配合と付着配合には一般に差がある。この傾向を確認するためには、吹付けられたコンクリートを洗い分析して付着配合を求めなければならない。しかしこれらの試験には多くの時間と労力を

表-6 吹付けリバウンド試験結果

配合 NO.	鋼繊維添加率 (%)	鋼繊維の種類	吹付け量 (kg)	リバウンド		W/C (%)
				量 (kg)	率 (%)	
1-2	1.0	A-1	612	77.2	12.6	52.7
2	1.0	A-2	448	94.3	21.0	59.1
5-2	0	-	584	203.4	34.8	44.1
7-2	1.0	B-3	760	89.3	11.8	51.6
10-2	1.5	A-1	820	141.7	17.3	48.8
11-2	1.5	B-3	526	94.0	17.9	56.6

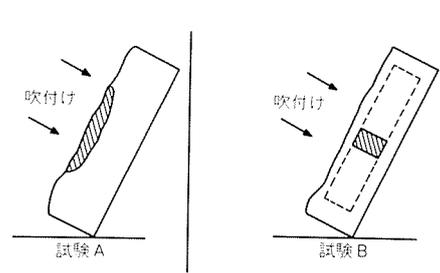
必要とし、現場での試験では精度的にも問題がある。このために今回の実験では付着コンクリート中の鋼繊維の量のみを測定した。

試験はコンクリートを吹付けた直後に試料を採取し、それに含まれる鋼繊維の量と形状の変化を観察することにより実施した。さらにコンクリートの強度試験後の供試体を破碎して、それに含まれる鋼繊維量をも測定した。試験の結果は表-7に示すとおりである。この内、試験Aは現場で吹付け直後にパネルより約1.2kgの試料を採取し試験したもので、試験Bは、曲げ強度試験をした後の供試体の中心部より約1kgの試料を採取して試験したものである。

試験の結果を見ると鋼繊維の混入率はかなりのばらつきがあるが、1.0%の添加では平均してその85%が付着し

表-7 鋼繊維の付着

配合 NO.	鋼繊維の種類	鋼繊維添加率 (%)	鋼繊維混入率 (%)	
			試験A	試験B
1	A-1	1.0	0.45	0.85
2	A-2	1.0	0.69	0.72
3	A-3	1.0	0.83	1.04
4	C	1.0	0.72	0.99
6	B-4	1.0	0.83	0.88
7	B-3	1.0	0.49	0.78
8	B-2	1.0	0.45	0.86
9	B-1	1.0	0.70	0.92
10	A-1	1.5	1.14	1.44
				1.42
11	B-3	1.5	0.96	0.83
				0.94
12	C	1.5	1.19	1.31
13	A-1	2.0	1.86	1.63
14	B-2	2.0	1.18	1.19
				1.85



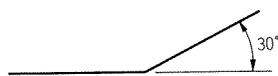
ていた。鋼繊維の付着率は添加率の増加に伴ない減少する傾向がみられた(添加2.0%ではその75~80%が付着)。一般には剪断や切削ファイバのように断面形状の角ばった鋼繊維の付着が良好で、寸法の長いものが付着はやや良いようである。今回の実験の限りでは鋼繊維量が多くなると吹付けられた鋼繊維の分布にはばらつきが多くなるようで、付着率の減少と伴なって添加量の増加に比例した効果は期待できないようである。

また、吹付けによる鋼繊維の変形については、試験Aによって採取した鋼繊維について、30°以上曲ったもの及び切断されたものを選びだしその重量を計り全体に対する割合で示し折れ曲がり率とした。試験の結果は表-8に示すとおりで、変形についてはカットワイヤが最も安定しており、混合後で8%程度、吹付け後で15~20%であった。剪断ファイバは0.5×0.5×20mmのものがカットワイヤと同等であったが、25mm、30mmの長いものはミキサ内で25%及び45%が変形し、吹付け後は40%及び50%が変形していた。切削ファイバは曲がりはないがミキサ内で40%以上、吹付け後は60~70%が折れて2~3片

表-8 鋼繊維の変形状況

No.	鋼繊維の種類・寸法		鋼繊維 添加率(%)	鋼繊維の折れ曲がり率(%)※	
	種類	寸法(mm)		混合後	吹付け後
1	A-1	0.5×0.5×20	1.0	8.1	20.0
2	A-2	0.5×0.3×25	1.0	25.6	39.6
3	A-3	0.5×0.5×30	1.0	45.3	50.2
4	C	0.5×0.5×30	1.0	61.5 ※※	64.0 ※※
6	B-4	φ0.4×20	1.0	16.8	17.2
7	B-3	φ0.45×25	1.0	7.2	16.7
8	B-2	φ0.4×25	1.0	6.8	22.8
9	B-1	φ0.5×25	1.0	6.1	15.9
10	A-1	0.5×0.5×20	1.5	8.7	18.2
11	B-3	φ0.45×25	1.5	8.9	14.0
12	C	0.5×0.5×30	1.5	42.2 ※※	72.9 ※※
13	A-1	0.5×0.5×30	2.0	16.1	20.1
14	B-2	φ0.4×25	2.0	9.0	17.6

※30°以上曲がったもの及び切断したものの全体に対する重量比  
 ※※ 全て切断



に切断されていた。

3-5 強度試験

吹付けコンクリートの強度試験の方法には定まったものがない。このため今回の実験では一般に用いられている、木製パネルに吹付けたコンクリートより供試体を切りだして試験する方法を採用した。パネルは50×50×15cmとしてこれを約60°にたて掛けてコンクリートを吹付けた。このパネルより材令2日及び3日でφ50mmのダイヤモンドビットを用いてコア・ボーリングをして供試体を作成し圧縮強度試験を実施し、材令7日及び28日には10×10×40cmのはりを切り出しJIS・A・1106により曲げ強度及び圧縮強度を試験した。なお曲げ試験の載荷は吹付け方向と同一とした。試験の結果は表-9に示すとおりである。

試験の結果より、吹付けコンクリートに鋼繊維を添加することにより材令28日の圧縮及び曲げ強度は、鋼繊維添加率1.0%では30~40%、添加率1.5%では40~60%、添加率2.0%では40%程度いずれも増加した。

鋼繊維の種類や寸法の影響については今回の実験では明確ではなかったが、全般的にはカットワイヤが効果が大きく、次いで剪断ファイバ、切削ファイバの順であった。また、鋼繊維の径の細いもの程効果は大きいようであった。

初期強度については、ばらつきが大きく鋼繊維添加の効果を明らかにするにはいたらなかった。特に鋼繊維を1.0%添加したものの圧縮強度では効果は明確でなかつ

表-9 吹付けコンクリート強度試験結果

配合NO.	鋼繊維率 種類	圧縮強度				曲げ強度	
		2日	3日	7日	28日	7日	28日
1	1.0	184	164	220	380	45.7	60.3
	A-1	165	183	173	193		
2	1.0				380	46.5	58.5
	A-2	146	173	230	380		
3	1.0				365	58.6	60.0
	A-3				341		
4	1.0	126	135	217	298	51.5	48.9
	C	118	139	149	225		
5	プレ	124	231	247	243	42.4	49.2
	ーン	142	205	221	241		
6	1.0				364	47.3	45.8
	B-4				326		
7	1.0	177	198	298	444	65.3	82.1
	B-3	191	193	201	281		
8	1.0				383	56.9	76.3
	B-2				374		
9	1.0				386	61.1	70.4
	B-1				375		
10	1.5	218	222	255	402	61.9	63.0
	A-1	199	237	227	406		
11	1.5	130	188	309	307	61.6	84.2
	B-3	130	169	178	293		
12	1.5				331	66.7	72.5
	C				299		
13	2.0				312	60.3	69.8
	A-1				310		
14	2.0				322	58.7	67.7
	B-2				288		

た。これは若材令におけるコアボーリングの悪影響（鋼繊維補強コンクリートでは、鋼繊維の影響で特にカット面がルーズになり易い）や、鋼繊維を添加することにより吹付けコンクリートの空隙がときとして増加する傾向があったことなどが、初期の圧縮強度を小さくした原因になっていると考えられる。

§4. 考察

鋼繊維補強コンクリートの吹付けに関する現場実験によって得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 鋼繊維のミキサでの混合はいずれも良好で、従来の吹付けコンクリート用の混合装置で十分にコンクリートを製造できる。
- 2) 鋼繊維のミキサへの投入方法は、プラントの型式

などにより異なるが、必ずしも分散機を用いる必要はない。ベルトコンベアを介して手でほぐしながら投入する方法でも十分に鋼繊維の分散は可能であり、作業的にも大きな支障はない。

- 3) 鋼繊維の添加率が2.0%になるとわずかにファイバボールのできるものがあり、吹付け機に投入する前に除去する必要がある。
- 4) 鋼繊維の添加により混合されたコンクリート材料はからまりやすくなり、吹付け機のホップの金網の上にとまり、掻き落しの作業が必要となった。特に表面水量の大きな骨材を用いた場合にはこの傾向が著しく、ホップ部の型枠バイブレータの設置やその構造なども検討する必要がある。
- 5) コンクリートに鋼繊維を添加することにより乾式吹付けの場合でも単位水量はわずかに増加するようであるが、一般の鋼繊維補強コンクリート程ではない。鋼繊維の種類や形状などによる差は特に認められなかった。
- 6) 吹付け機械については従来より用いられている機種で十分と考えられる。鋼繊維を添加したことにより吹付け作業そのものには特に支障を与えはしないが、圧送距離の限度や機械器具などの消耗度については今後検討しなければならない。
- 7) 吹付けリバウンドについては鋼繊維添加の影響を明確には試験できなかったが、試験の限りでは全般に少なく、鋼繊維添加の効果はあると考えられた。
- 8) 鋼繊維はミキサでの攪拌や吹付けにより折れ曲がったり切断されたりする。この傾向は鋼繊維の種類によりかなりの差がある。特に切削ファイバでは切断される傾向が大であった。
- 9) 鋼繊維の付着量は添加量に比較して減少する傾向にある。試験の限りでは付着量は添加量の80~90%程度であった。
- 10) 付着した鋼繊維は吹付け面に対して平行に配列される傾向がかなり顕著であった。
- 11) 鋼繊維補強吹付けコンクリートの強度は、鋼繊維を添加しないものに比較して、材令28日で30~60%程増加した。添加率については1.5%のものが最も効果があった。
- 12) 今回の実験では全般的にカットワイヤを用いたものが強度的には効果が大きであった。これはカットワイヤが他に比較して細いためと考えられる。
- 13) 吹付けコンクリートの強度試験の方法や試験値の取扱いについては、吹付けコンクリートの品質そのものにかかなりのばらつきがあることを考慮しなけれ

ばならない。特に初期強度については、試験方法も含めて今後の検討課題となろう。

以上で鋼繊維補強コンクリートの現場吹付け実験の報告を終了する。今回の実験は、施工性ということを前面にし、また現場での作業工程に組み入れての実験であったため時間的な制限もあり、鋼繊維補強コンクリートの吹付けに対する十分な資料を得るにはいたらなかった。今後も機会をみつければこの種の実験を続けると共に、特に初期強度に対する検討や経済的なメリットなどについて検討する必要があるだろう。なお、本実験は下郷出張所、土木設計部及び技術研究所が共同で計画実施したもので、吹付けは昭和54年10月3日~5日に同所の設備及び場所の提供を受け実施したものである。実験を行うにあたり御協力頂いた関係各位に深謝する次第です。