

ビニロン短繊維を用いた繊維補強ソイルセメントコラムの強度特性

Strength Properties of Fiber-Reinforced Soil Cement Column Using PVA Short Fiber

實松 俊明 持田 悟
田中 俊平 閑田 徹志

要 約

これまでの研究において、繊維補強ソイルセメント（FRSC）固化体の繊維混入による補強効果を室内実験で確認している。今回、実施工 FRSC コラムの強度特性及び施工性について検討するために、一連の実験（室内練混ぜ実験、現場施工実験、FRSC コラムの実大曲げ実験）を実施した。FRSC に使用した繊維は長さ $14\mu\text{m}$ 、長さ 8mm のビニロン繊維で、繊維混入率は体積比で 0.6% としている。事前に現地土の室内練混ぜ試験を行った結果、FRSC の引張、曲げ強度は繊維を混入しない通常のソイルセメントと比べて大きく向上することが確認された。施工実験は、ソイルセメント壁工法に使用される 3 軸掘削攪拌機を用いてローム地盤で実施した。施工実験後に FRSC コラムから採取した試料の強度試験を行った結果、繊維の配向に起因すると考えられる強度の異方性がみられたものの、全体的には室内試料と同様の高い靱性が得られた。また、実施工コラムを掘り出して実大曲げ実験を行った結果、試験体せいの増大に伴って曲げ強度が低下することが確認された。

目 次

- はじめに
- 室内練混ぜ実験
- 現場施工実験
- FRSC の材料強度
- 実大コラムの曲げ実験
- おわりに

はじめに

現地土を骨材としてセメント固化体を造成するソイルセメント工法は、年々適用範囲が拡大しており、地盤補強だけでなく構造物の基礎をはじめ様々な用途への展開が期待されているが、一方でソイルセメントの材料性能、特に引張性能の不足がその適用範囲を限定している。筆者らは、ソイルセメントに細径ビニロン短繊維を混入することで、引張性能の向上を図った繊維補強ソイルセメント（Fiber Reinforced Soil Cement : FRSC）に関する研究を行っており、室内混合試料の力学的特性については既に年報に報告している¹⁾。この FRSC 固化体をスラリー系の工法によって実際に施工する場合、繊維分散セメントミルクの製造、ポンプによる圧送、土との攪拌など、室内とは条件の異なる一連の工程が必要である。また、FRSC に用いる繊維混入セメントミルクは通常のセメントミルクと性状が異なることから、原位置における施工性及び品質について実際に確認する必要がある。今回、ソイルセメント壁工法に使用される 3 軸掘削攪拌機を用いて FRSC の現場施工実験を行った。本報告では、現地土を用いた室内練混ぜ実験と施工実験で得られた FRSC 固化体の材料強度特性、及び造成したコラムを掘り出し

て実施した実大曲げ実験結果について述べる。

室内練混ぜ実験

1. 実験概要

施工実験現場から採取した土の物理特性を Table 1 に、本実験で使用する繊維の仕様を Table 2 に示す。採用した繊維は細径のビニロン繊維である。細径ビニロンは細い繊維径（ $14\mu\text{m}$ ）と高い引張強度（ 1870MPa ）が特徴であり、セメント系マトリクスとの付着強度が非常に高いことが確認されている²⁾。練混ぜ実験の配合は Table 3 に示

Table 1 Physical Properties of Soil

土質	湿潤密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	塑性 指数	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
ローム	1.34	124	48.5	142.1	93.6

Table 2 Fiber Properties

繊維径 (mm)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	破断伸度 (%)	繊維長 (mm)
0.014	1870	41.2	6.0	8

Table 3 FRSC Mix for Laboratory Mixing Test

配合 No.	土質	土 (m^3)	セメント ¹⁾ C(kg)	水セメント比 (%)	増粘剤 (kg)	混和剤 (kg)	繊維量 (Vol.%)	総水量 ²⁾ W _T (kg)	W _T /C (%)
1-1	ローム	0.88	400	92	2.5	3	0.6	1021	255
1-2			400	102	2.5	3	0.6	1061	265
1-3			400	122	2.5	3	0.6	1141	285
1-4			450	90	2.5	3	0.6	1058	235
1-5			450	120	2.5	3	0.6	1193	265
2-1	密度 $1.34\text{g}/\text{cm}^3$ 含水比 124%	0.82	350	118	2	3	0.6	1021	292
2-2			350	138	2	3	0.6	1091	312
2-3			400	113	2.5	3	0.6	1060	265
2-4			400	133	2.5	3	0.6	1140	285
2-5			450	130	2.5	3	0.6	1193	265

*1: 高炉Bセメント *2: 土中の水分量を含めた総水量

キーワード: ソイルセメント, 繊維補強, 短繊維,
地盤改良, 原位置試験, 施工実験, 曲げ強度,
寸法効果

Table 4 Results of Laboratory Mixing Test

配合 No.	配 合					練混ぜ時のフレッシュ性状			圧縮試験結果 ¹⁾			曲げ試験結果 ¹⁾		引張試験結果 ¹⁾	
	土量 (m ³)	セメント量 C(kg)	水セメント比 (%)	総水量 W _T (kg)	W _T /C (%)	温度 (deg.)	密度 (g/cm ³)	フロー (mm)	試験数	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)	試験数	曲げ強度 (MPa)	試験数	引張強度 (MPa)
1-1	0.88	400	92	1021	255	22.7	1.36	117×116	3	0.832	428	3	1.007	4	0.569
1-2		400	102	1061	265	21.0	1.35	118×119	3	0.897	328	3	1.076	-	-
1-3		400	122	1141	285	20.1	1.32	130×130	3	0.318	238	3	0.458	4	0.358
1-4		450	90	1058	235	21.2	1.37	116×116	3	1.411	716	3	1.517	-	-
1-5		450	120	1193	265	22.8	1.34	136×137	3	0.923	546	3	1.567	4	0.732
2-1	0.82	350	118	1021	292	21.0	1.33	127×125	3	0.543	333	3	0.683	4	0.473
2-2		350	138	1091	312	19.9	1.30	129×130	3	0.385	300	3	0.379	4	0.356
2-3		400	113	1060	265	20.5	1.31	126×125	3	0.974	598	3	1.245	-	-
2-4		400	133	1140	285	20.0	1.27	136×134	3	0.634	383	3	0.931	4	0.558
2-5		450	130	1193	265	20.5	1.30	147×145	3	1.631	885	3	1.454	-	-

*1: 材令28日

すように、主に土量、セメント量及び水セメント比を変化させた。繊維量は、これまでに実施した室内練混ぜ実験¹⁾から十分な補強効果が確認されている0.6%（体積比）とした。なお、Table 3には土中の水分量を含めた総水量 W_T 及び W_T とセメント量 C の比 (W_T/C) も併せて示している。総水量 W_T は(1)式で算定される。

$$W_T = W + 1000 \cdot \rho_t \{ w / (100 + w) \} \cdot V \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 W_T : 土中の水分量を含めた総水量 (kg)

W : 添加水量 (kg)

ρ_t : 土の湿潤密度 (g/cm³)

w : 土の含水比 (%)

V : 土の体積 (m³)

FRSC の練混ぜ時には、フレッシュ性状として練上がり温度、密度、フロー値を測定し、さらには繊維の分散を目視で確認した。

各配合の FRSC について、硬化後材令 28 日で圧縮、引張及び曲げ強度試験を行った。圧縮試験では $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体を用い、引張試験では $30 \times 12\text{mm}$ の中央部断面をもつダンベル型の供試体を用いた。曲げ試験では、 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$ の直方体供試体をスパン 100mm で中央集中載荷を行った。

2. 実験結果

FRSC のフレッシュ性状及び強度試験結果を Table 4 にまとめて示す。Table 4 の強度試験結果は、各配合に対して行った 3～4 体の試験値の平均を示している。また、表中の弾性係数は圧縮強度の 1/3 の点に対する割線弾性係数とし、曲げ強度は曲げ試験で得られた

最大曲げモーメントを断面係数で除した値とした。

Fig.1 に総水量 W_T と FRSC の練上がり時におけるフローの関係を、Fig.2 に W_T/C と圧縮強度の関係を示す。両図より、総水量の増大に伴いフローの値が増大し、 W_T/C の増大に伴い圧縮強度が減少する傾向がみられる。土との攪拌性や施工性を考慮すると、繊維の分散が確保できる範囲で流動性はできるだけ大きいほうが望ましい。

Fig.3 に、強度試験で得られた代表的な応力度 - ひずみ（変位）曲線を示す。Fig.3(a)の圧縮試験結果及び Fig.3(c)の引張試験結果をみると、両試験ともにひずみ 2 %程度以上まで圧縮及び引張強度に近い応力度を保持している。また、Fig.3(b)の曲げ試験についても、曲げ強度時の中央変形が 1～2 mm 程度であり、引張性能をほとんど期待できない通常のソイルセメントと比べて優れた靱性を有していることが分かる。なお、他の供試体についても同様の傾向を確認している。

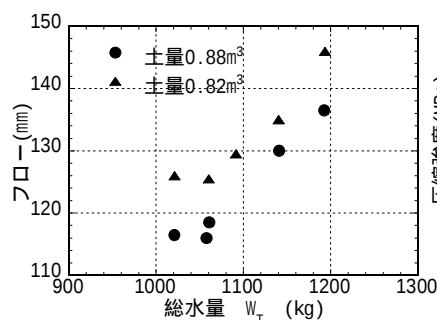
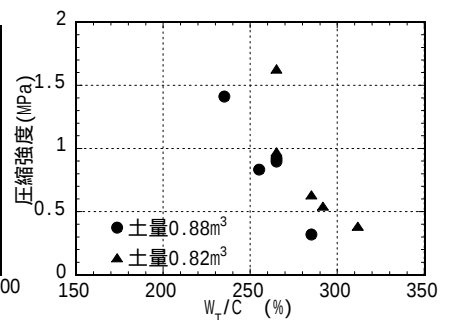
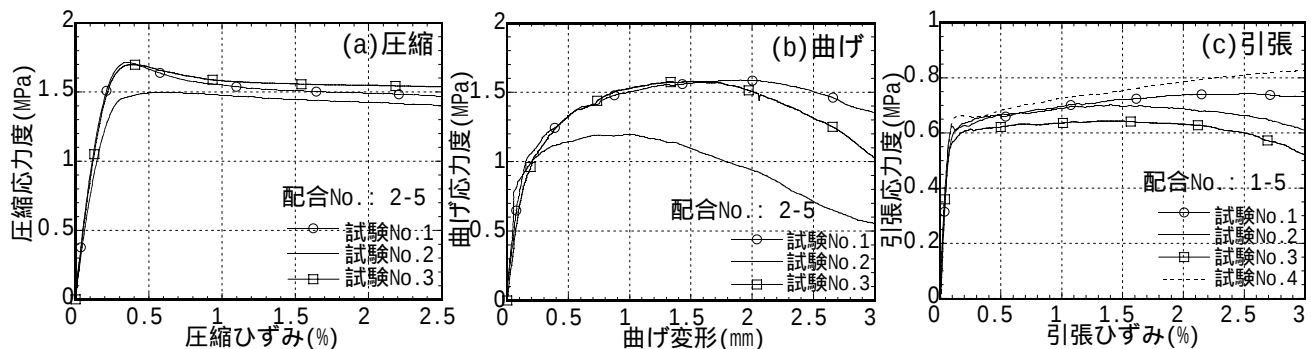
Fig.1 Correlation between Quantity of Total Water W_T and FlowFig.2 Correlation between W_T/C and Compression Strength

Fig.3 Stress-Strain (Deformation) Relationships of FRSC [Laboratory Mixed Samples]

現場施工実験

1. 実験概要

(1) 地盤概要

施工実験では、ソイルセメント壁工法で用いる3軸掘削攪拌機によって、N値3～7の一様なローム地盤に削孔径600mmの3連円コラム（ピッチ450mm）を2体造成した。Fig.4に地盤及びFRSC固化体の施工断面を示す。No.1コラムは繊維を混入したFRSC固化体（施工深さ8.0m）で、No.2コラムは繊維を混入しないソイルセメント（SC）固化体（施工深さ3.8m）である。本地盤におけるロームの物性は、Table 1に示す通りである。

(2) FRSCの配合

FRSCの配合は、圧縮強度1.5MPa以上を目標とし、かつ施工性をできるだけ良くするため、施工時のFRSCのフロー140mm程度を目安に室内練混ぜ実験を基に決定した。またコラムの施工は、繊維を混入した水セメント比80%のセメントミルクをポンプにより地盤内に投入し、さらに必要な水をセメントミルクと別系統で加水して行った。Table 5にFRSCの配合（No.1コラム）を示す。No.2コラムについては、Table 5の配合から繊維のみを除いている。

(3) 施工方法

Photo 1に施工実験に用いた3軸掘削攪拌機を示す。施工仕様をTable 6に、施工法の概要を以下に示す。

- 地表から1mの土をバックホウで排土し、施工機を所定の位置に移動させる。
- グラウトポンプにはスクイズ式ポンプを使用し、深度1.4mを1ステップとしながら、両端の攪拌軸からは所定量のセメントミルクを、中央の攪拌軸からは所定量の水（加水）を送りながら、地盤を切削、攪拌混合してコラムの造成を行う。
- 掘進時の速度は0.5m/分、引上げ、練返し時の速度は1.0m/分とし、各施工ステップ（1.4m）毎に2回の練返しを行う。なお、引上げ、練返し時にはセメントミルク及び加水の注入は行わず、攪拌のみとする。

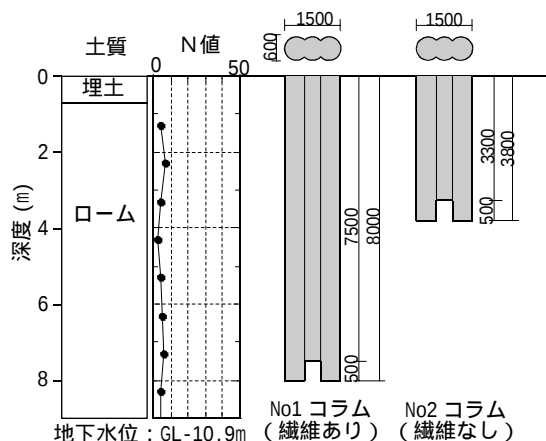


Fig.4 Outline of Execution Test [mm]

Table 5 FRSC Mix for No.1 Column [Volume of Soil: 0.82m³]

繊維混入セメントミルク							加水		
セメント ¹⁾	水	水セメント比	増粘剤	混和剤	繊維体積比(%)	合計	水	総水量 ²⁾	W _T /C
C(kg)	(kg)	(%)	(kg)	(kg)	セメントミルク	FRSC	(kg)	(kg)	(%)
450	360	80	2.5	3	1.75	0.6	521	178	254

*1: 高炉Bセメント *2: 土中の水を含めた総水量

(4) 試料の採取

施工直後に、コラム頭部において未固化試料を型枠に採取し、硬化後に圧縮、引張り及び曲げ試験を行った。また、No.1コラムは硬化後にコラムを掘り出し、鉛直コア及び水平コアの採取を、No.2コラムは鉛直コアの採取を行い、圧縮及び曲げ試験を行った。さらに掘り出したNo.1コラムについては実大の曲げ実験を行った。



Photo 1 Execution Equipment

2. 実験結果

(1) 施工状況

施工時のプラントにおける繊維混入セメントミルクの攪拌性、繊維の分散状態、ポンプの圧送性は良好であった。Fig.5に、流量計で測定した各施工ステップにおけるセメントミルク及び加水の累積投入量を計画投入量と併せて示す。Fig.5より、両コラムともほぼ計画どおりの投入量が確保できており、所定の配合の固化体が造成できていることが確認された。また、掘り出したコラムに対して任意の深度でコラムの断面観察を行った結果、セメントミルクと攪拌せずにそのまま残った土塊の混入面積の割合は3%程度であり、土との攪拌性は良好であった。

(2) 強度試験結果

Table 7に型枠採取試料の各強度試験結果を示す。供試体の寸法及び試験法は室内練混ぜ試料と同様である。強度試験結果は各コラム、各材令に対して行った3体の試験値の平均を示している。Table

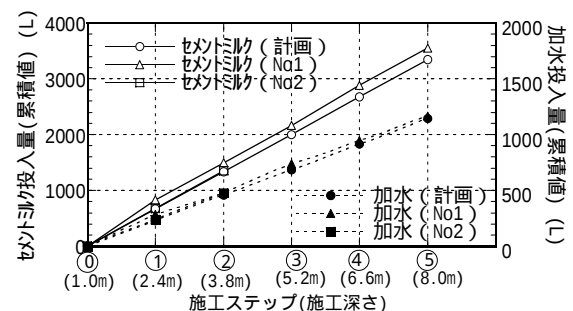


Fig.5 Quantity of Cement Slurry and Water during Excavation

Table 6 Execution Method

試験体 No.	形状 (3連円)	繊維	施工長 (m)	掘進速度 (m/分)	引上げ速度 (m/分)	回転数 (rpm)		セメントミルク投入量 (L/本)	加水投入量 (L/本)
						中央軸	両端軸		
1	径600mm	有	8.0	0.5	1.0	14.5	26.0	3340	1145
2	ピッチ450mm	無	3.8	0.5	1.0	14.5	26.0	1336	458

Table 7 Strength of Mold Samples

試験体	繊維 (有無)	圧縮試験結果			曲げ試験結果		引張試験結果		材令 (週)
		試験数	圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)	試験数	曲げ強度 (MPa)	試験数	引張強度 (MPa)	
No.1	有	3	0.855	555	3	0.841	3	0.565	4
		3	1.520	749	-	-	3	0.595	6
		-	-	-	3	1.501	-	-	10
No.2	無	3	1.669	887	3	0.455	-	-	4
		3	3.393	1831	3	0.711	-	-	10

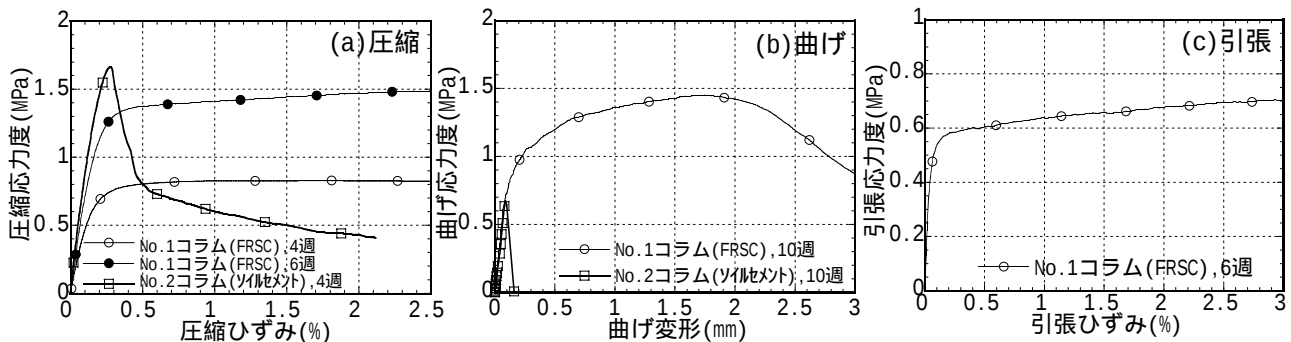


Fig.6 Stress-Strain (Deformation) Relationships of FRSC [Mold Samples]

7によると、材令4週の圧縮強度は目標値である1.5MPaに達していないが、材令6週では強度が増加し1.5MPa以上となっている。

Fig.6に、型枠採取試料の代表的な応力度 - ひずみ(変位)曲線を示す。Fig.6の型枠採取試料の結果をみると、繊維を混入したNo.1コラムは、Fig.3に示したFRSCの室内練混ぜ実験結果と同様の高靱性の力学的性状が得られている。一方、繊維を混入しないNo.2コラムについては、Fig.6(a)の圧縮試験では圧縮ひずみ0.5%以下で荷重の低下が認められ、Fig.6(b)の曲げ試験についても載荷点の変位が0.1mm程度で急激に荷重が低下し、脆性的な破壊性状となっている。

Fig.7にコア試料の強度試験結果の深度方向分布を示す。コアの径は殆どがφ100mmであるが、一部75mmを含んでいるため、圧縮試験ではφ100mm×200mm及びφ75mm×150mmの円柱供試体を用いた。また、曲げ試験はφ100mmのコアを40×40×160mmの直方体供試体に整形して試験を行った。Fig.7より、No.1コラムの鉛直コアと水平コアの強度を比較すると、圧縮強度については有意な差は認められないが、曲げ強度は鉛直コアが水平コアの1/3程度となっている。

Fig.8にコア試料の代表的な応力度 - ひずみ(変位)曲線を示す。Fig.8の結果をみるとNo.1コラムの水平コアについては(a)の圧縮、(b)の曲げ試験結果共に、室内練り混ぜ試料と同様の高い靱性が得られている。一方、鉛直コアについては、(a)の圧縮試験では水平コアと同様の力学的性状が得られているのに対し、(b)の曲げ試験では曲げ強度到達時の中央変形は0.5mm程度であり、その後の荷重の低下度合いは比較的緩やかであるものの、水平コアと比較すると靱性の向上効果は小さい。繊維を混入しないNo.2コラムについては、Fig.6に示す型枠採取試料のNo.2コラムと同様、圧縮強度及び曲げ強度到達後に急激な荷重の低下がみられる。

・FRSCの材料強度

Fig.9に室内練り混ぜ試料、型枠採取試料、コア試料の強度試験から得られた圧縮強度と曲げ強度の関係を、Fig.10に圧縮強度と引張強度の関係を、Fig.11に圧縮強度と弾性係数Eの関係を示す。型枠採取試料は同材令におけるデータを、コア試料は深度差30cm以内のデータを用いている。また、Fig.9～Fig.11には繊維を混入しない通常のソイルセメントに対する既往の関係式³⁾⁴⁾を、Fig.9及びFig.10には過去に実施したソイルセメントの室内練混ぜ実験結果¹⁾も併せて示している。

室内練混ぜ試料の結果をみると、Fig.9より、同じ圧縮強度におけるFRSCの曲げ強度()は、ソイルセメントに対する既往の関係式³⁾あるいは過去に実施したソイルセメントに対する試験結果()¹⁾と比較して2倍～3倍となっている。また、Fig.10より同じ圧縮強度におけるFRSCの引張強度()は、ソイルセメントに対する既往の関係式³⁾、及び過去に実施したソイルセメントに対する試験結果()¹⁾と比較して4倍程度となっており、繊維補強の効果が明確に現われている。

型枠採取試料については、Fig.9より、繊維なしのNo.2コラムの曲げ強度()はソイルセメントに対する既往の関係式³⁾上に分布している。また、Fig.9、Fig.10より、繊維を混入したNo.1コラム(▲)はソイルセメントに対する既往の関係と比べて曲げ・引張強度ともに大きく、繊維による補強効果が確認できる。

コア試料については、Fig.9より、繊維なしのNo.2コラムの曲げ

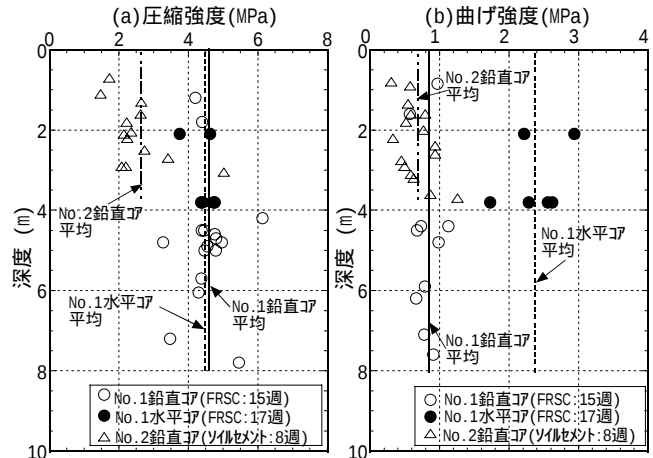


Fig.7 Strength of Core Samples

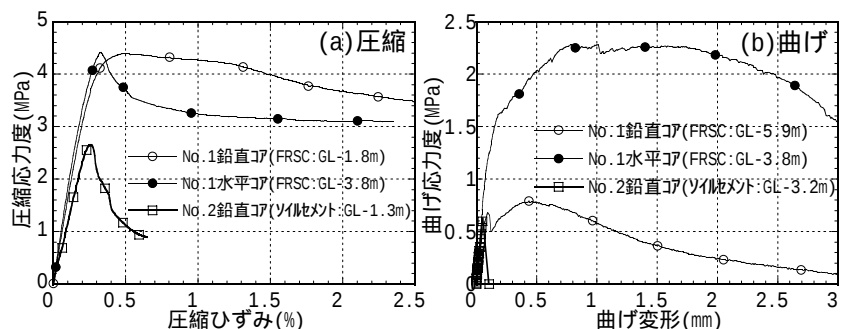


Fig.8 Stress-Strain (Deformation) Relationships of FRSC [Core Samples]

強度（○）はソイルセメントに対する既往の関係式³⁾上に分布している。繊維を混入した No.1 コラムの曲げ強度は、水平コアと鉛直コアで傾向が異なり、水平コアの曲げ強度（■）は、FRSC の室内練混ぜ試料と同様、ソイルセメントに対する既往の関係³⁾と比べて2～3倍と大きな値を示している。一方、鉛直コアの曲げ強度（●）は Fig.9 に示した式の延長上に分布し、ソイルセメントと同等の値を示している。 章の後半でも触れているが、このように FRSC の鉛直コアと水平コアの間で曲げ特性が異なった原因としては、水平方向に回転する攪拌翼によって繊維の配向に方向性が生じたことによるものと推測される。繊維の配向については、攪拌方法と FRSC の流動性が大きく影響すると考えられ、今後の検討課題である。

Fig.11 の圧縮強度と弾性係数 E の関係については、図中の式⁴⁾の弾性係数 E_{50} が圧縮強度の 1 / 2 の点に対する割線弾性係数であるため、本試験における弾性係数とは厳密には定義が異なっているが、No.1 コラムの鉛直コアの値が若干ばらついている点を除くとソイルセメントに対する既往の関係⁴⁾の範囲に分布しており、繊維なしのソイルセメントとほぼ同様の関係となっている。

・実大コラムの曲げ実験

1. 実験概要

繊維を混入した No.1 コラムの深度 0.7m～5.2m（長さ 4.5m）までを掘り出して曲げ実験を実施した。Fig.12 に試験体の概要を示す。実験前に試験体の断面寸法を実測した結果、コラムの 3 連円の平均直径は 630mm であり、施工機のオーガー径（600mm）より若干大きい値であった。曲げ実験は加力スタブを Fig.12 に示すように設置し、スパン 4.0m の単純梁形式で中央 2 点载荷（純曲げ区間 1.0m）で行った。なお、支持点は両端ともテフロン支承としている。加力プロセスは、当初は荷重制御で行い、ひび割れ荷重において一度除荷して 1 サイクルの繰返しを行い、その後は変形制御で最終的に破壊まで载荷を行った。

2. 実験結果

Table 8 に実験結果の一覧を Fig.13 に荷重と中央変形の関係を、Photo 2 に実験終了時の試験体の状況写真を示す。Table 8 には No.1 コラムから採取した鉛直コアの曲げ強度の平均（Fig.7 参照）を併せて示している。また、試験体の中央変形は幅方向に設置した 2 測点の測定値の平均としている。Fig.13 の実験結果をみると、部材の中央変形 14mm で最大荷重 43.3kN に到達し、その後の荷重の低下度合いは比較的緩やかである。また、中央変形 40mm 程度まで最大荷重の半分以上の荷重を保持しており、優れた変形性能を有しているといえる。一方、曲げ耐力については、Table 8 より最大モーメントを断面係数で除した実大コラムの曲げ強度は、鉛直コアの曲げ強度の 6 割程度の値となった。

3. 曲げ強度の寸法効果

実大コラムの曲げ強度がコアの曲げ強度より小さな値となっ

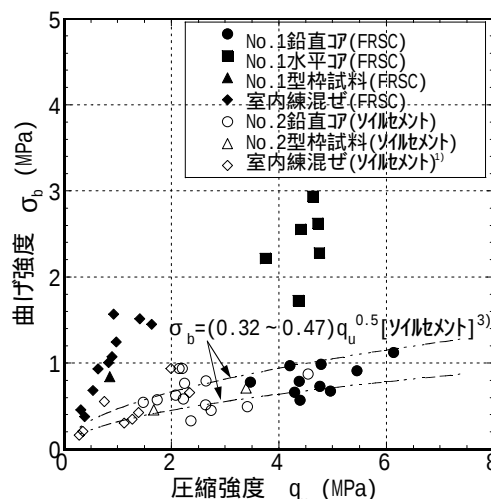


Fig.9 Effect of Compressive Strength on Modulus of Rupture

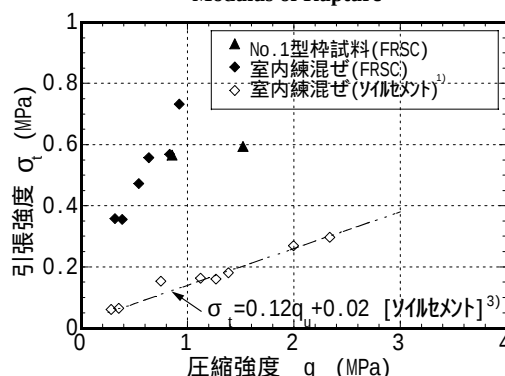


Fig.10 Effect of Compressive Strength on Tensile Strength

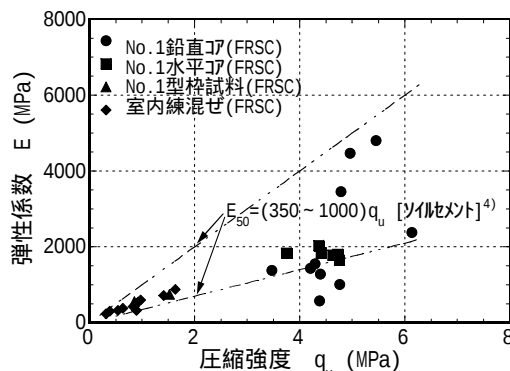


Fig.11 Relationship between Compressive Strength and Elastic Modulus

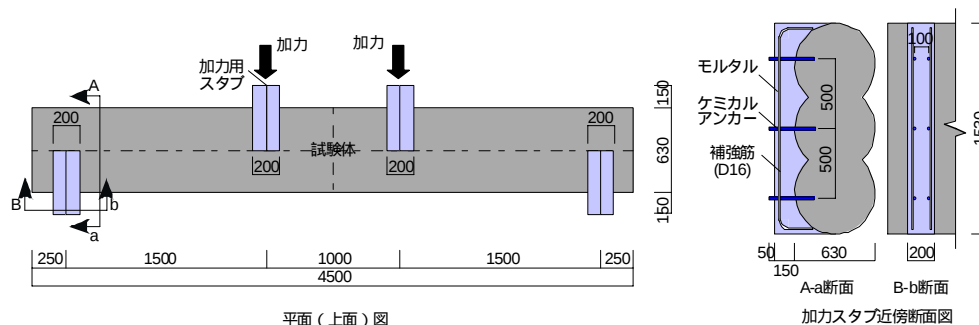


Fig.12 Outline of Specimen

Table 8 List of Test Result

曲げ 実験 結果	試験体	No.1コラム
	材令(週)	14
	最大荷重 P_{max} (kN)	43.3
	最大荷重時中央変形 δ (mm)	14
	最大モーメント M_{max} (kN・m)	32.5
	断面2次モーメント I (m^4)	0.0221
	断面係数 Z (m^3)	0.0701
曲げ強度 $[=M_{max}/Z]$ (MPa)		0.464
鉛直コアの曲げ強度平均 $[n=10]$ (MPa)		0.821

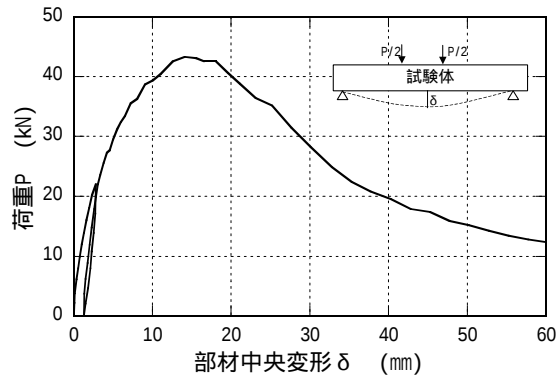


Fig.13 Load-Displacement Relationship of No.1 Column

た主な原因としては、寸法効果が考えられる。FRSC と同じ短繊維補強セメント複合材料である炭素繊維補強コンクリート (CFRC) においても、試験体の寸法あるいは載荷方法等によって曲げ強度が変化することが報告されている⁵⁾。ここでは、鉛直コアの曲げ強度(試験体寸法: 40mm×40mm×160mm)の平均で基準化した曲げ強度比と試験体せいの関係について検討を行う。Fig.14 に No.1 コラムの曲げ強度比と試験体せいの関係を示す。図中には、過去に試験体寸法を変えて実施した FRSC の室内打設試験体に対する曲げ実験結果⁶⁾を併せて示している。室内打設試験体の繊維混入率は No.1 コラムと同様の 0.6%であり、土は木節粘土を用いている。また、室内打設試験体の曲げ強度比は、はりせい 40mm の試験体の曲げ強度で基準化した値としている。Fig.14 より、今回の実大コラムに対する曲げ実験結果は、両対数上において室内打設試験体に対する既往の実験結果の延長上にプロットされており、試験体せいの増大に伴って曲げ強度が低下する傾向がみられる。実際の FRSC コラムの設計においては、このような部材寸法による曲げ強度の変化を適切に評価する必要がある。

．おわりに

本実験結果をまとめると、以下のとおりである。

- 施工実験現場から採取した土を用いて FRSC の室内練混ぜ実験を行った結果、繊維を混入しないソイルセメントと比較して、曲げ強度では 2 ～ 3 倍、引張強度では 4 倍程度の強度向上が確認された。
- 施工実験で造成した FRSC コラムから試料を採取して強度試験を行った結果、型枠採取試料及び水平コアについては強度、靱性共に室内混合試料の材料特性に近い力学的性状が得られた。一方、鉛直コアについては靱性の向上効果が水平コアと比べて



Photo 2 Specimen after Experiment

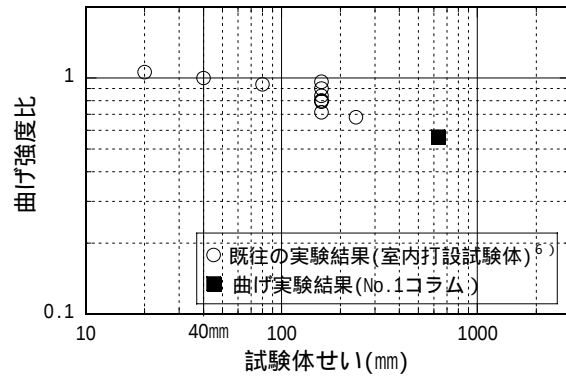


Fig.14 Relationship between Size of Specimens and Normalized Modulus of Rupture

小さく、曲げ強度もソイルセメントと同等であった。これは繊維の配向によるものと推測される。

c. FRSC の弾性係数と圧縮強度の関係は、繊維を混入しないソイルセメントに対する既往の関係とほぼ一致する傾向がみられた。

d. FRSC コラムを掘り出して実大曲げ実験を行った結果、試験体せいの増大に伴って曲げ強度が低下することが確認された。

今後は、繊維の配向性をより向上させることを目的とした検討を行うとともに、数多くのデータを蓄積し、FRSC 固化体の品質の向上を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 関田徹志ほか；高性能繊維補強ソイルセメント固化体の開発，鹿島技術研究所年報，vol.47，(1999)，pp.79-85.
- 2) Kanda T, Li V. C；Interface property and apparent strength of a high strength hydrophilic fiber in cement matrix, J. of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol.10, No.1, (1998), pp.5-13.
- 3) テノコラム・マニュアル基礎設計編；テノコラム協会，1988.
- 4) 齊藤聡ほか；セメント系硬化剤による深層混合処理工法に関する研究(その10) - 改良土の工学的性質(3) - ，第15回土質工学研究発表会，(1980)，pp.717-720.
- 5) 秋浜繁幸ほか；炭素繊維補強コンクリート (CFRC) の実験的研究(その4) —CFRC 供試体の形状・寸法と曲げ強度の関係—，鹿島技術研究所年報，vol.32，(1984)，pp.71-78.
- 6) 関田徹志ほか；高性能繊維補強ソイルセメント固化体の開発(その4 曲げ性能に関する寸法効果)，日本建築学会大会，(2000)，pp.401-402.