

添加材を混合した連続繊維補強土のせん断強度増強効果と現場への適用性

日特建設(株) 正会員 ○石垣 幸整

日特建設(株) 三上 登

長崎大学 正会員 大嶺 聖

1. はじめに

連続繊維補強土は、連続したポリエステル繊維を砂質土に均質に混合した補強土である。セメント等の添加材を用いずに、連続繊維が砂粒子を拘束することによって擬似的な粘着力が付与され、せん断強度が増加することが大きな特徴である。筆者らの検討¹⁾により、連続繊維補強土に1～2%の石灰系添加材を混合することで、低い垂直応力域のせん断強度を増加できることが明らかになっている。本検討では、石灰系添加材と、河川護岸適用の際に使用されるセメントとのせん断強度増強効果の比較を、実機試験にておこなった(試験 CASE-1)。さらに、現場への適用性を確認するため、7 現場から供試体を採取し、石灰系添加材のせん断強度増強効果を確認した(試験 CASE-2)。

2. 試験方法

一面せん断試験の試験条件を表 1、試験装置概略を図 1 に示す。供試体は実機(湿式吹付機 AG-300)にて作製した。供試体は、所定の角度($\alpha=30^\circ$)に傾けた傾斜台上にモールドを設置し採取した(図 2)。添加材は、連続繊維補強土の砂乾燥重量に対する添加量とした。一面せん断試験は「ジオファイバー工法」設計・施工マニュアル²⁾の試験方法に準じて行った。なお、添加材の効果は低い垂直応力下で発現される¹⁾ことから、垂直応力は、標準の垂直応力($100\sim 200\text{kN/m}^2$)よりも低い値を用いた。また、添加材の固結効果を確認するため、一軸圧縮強度試験($\phi 100\times 200$ 、繊維無)を実施し、植生への影響を確認するため、土壌硬度(山中式土壌硬度計)、土壌酸度(ガラス電極式)を測定した。

表 1 試験条件(一面せん断試験)

供試体の寸法	300×300×300mm
せん断変位速度	1mm/min
試験条件	圧密定圧条件
最大せん断変位量	40mm
砂質土 (試験 CASE-1)	川砂 均等係数:3.8 FM 値(粗粒率):2.4
添加材の種類	普通ポルトランドセメント (試験 CASE1 のみ) 石灰系添加材 (商品名:ジオアップ)
添加材を混合した場合の材齢	28 日

3. 結果及び考察

試験 CASE-1 の結果を表 2、図 3 に示す。試験 CASE-2 の結果を表 3 に示す。

(1) 石灰系添加材を混合した連続繊維補強土のせん断強度増強効果

試験 CASE-1 では、添加量に関わらずせん断強度増強効果が顕著に現れ、低垂直応力下(50kN/m^2 以下)でせん断強度が増加した。試験 CASE-2 では、添加量にもよるが、試験 CASE-1 と同様にせん断強度が増加し、全ての現場で粘着力が増加した。その粘着力は $54.1\sim 146.6\text{kN/m}^2$ の値を示し、その増加値は最大で 66.4kN/m^2 を示した(長野①)。試験 CASE-2 において、現場毎にその効果に違いが生じた理由は、砂の種類や、繊維の混合量によるものと思われる。

(2) 石灰系添加材とセメントとのせん断強度増強効果の比較

試験 CASE-1 では、石灰系添加材を 1～2% 添加した連続繊維補強土の粘着力は 130kN/m^2 前後を示し、 122.3kN/m^2 を示したセメント 1% 添加した場合とほぼ同程度の効果であることがわかった。

(3) 添加材によるせん断強度増強効果の要因

試験 CASE-1 では、無補強土(繊維無)に添加材を混合しても、粘着力は増加していない。このことから、せん断強度増強効果は固化した砂質土のせん断強度ではなく、その固結力により繊維の拘束効果が高まったことに起因していると思われる。これは、添加材を混合することは、せん断強度に及ぼす繊維の影響が大きくなることを示唆している。

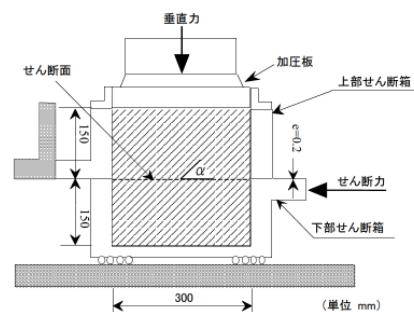


図 1 一面せん断試験装置概略

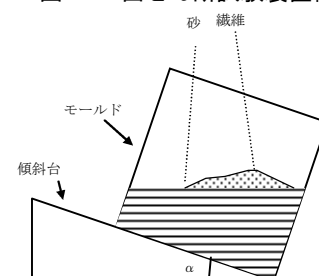


図 2 供試体採取方法

キーワード 連続繊維補強土、法面保護工、せん断強度、一軸圧縮強度

連絡先 〒104-0044 東京都中央区明石町 13-18 日特建設(株)技術本部 TEL:03-3542-9298

(4) 石灰系添加材の植生への影響

試験 CASE-1 では、土壌硬度、土壌酸度は、セメントよりも低い値を示した。よって、石灰系添加材はセメントと比較し、植生への影響が軽微である。ただし、2%添加した場合、試験 CASE-2 では、土壌硬度が根系の伸長がほとんど不可能となる30mm³付近の値を示し、植物への影響が懸念される。

(5) 石灰系添加材の必要添加量

1~2%の添加量で粘着力が増加すること、2%添加では土壌硬度の観点から植物への影響が懸念されることを考慮すると、砂の種類や、連続繊維補強土の表面に施す植生工等を考慮する必要はあるが、石灰系添加材の添加量は 1~2%の範囲で現場に適用していくことが望ましいと思われる。

(6) 低垂直応力下のせん断強度増強に必要な固結力

試験 CASE-1 では、石灰系添加材の一軸圧縮強度は 1%添加で 59.6kN/m²、2%添加で 72.9kN/m²を示した。セメント1%添加では 143.0kN/m²と約 2 倍以上の値を示した。一方、粘着力はほぼ同程度の値を示した。また、試験 CASE-2 では、30~50kN/m²の一軸圧縮強度で粘着力が増加している(長野①、長野②)。以上のことから、これまでの検討¹⁾と同様にせん断強度増強に必要な固結力(一軸圧縮強度)はそれほど大きな値を必要としないことが示された。

表 2 試験 CASE-1 の結果

	繊維	粘着力 (kN/m ²)	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	土壌硬度 (mm)	土壌酸度 (H ₂ O)
0%	無	60.3	-	-	8.5
	有	58.3	-	21.4	8.5
セメント 1%	無	43.3	143.0	27.7	10.7
	有	122.3	-	27.3	10.8
石灰系 1%	無	31.8	59.6	26.0	9.3
	有	134.2	-	25.5	9.1
石灰系 2%	無	38.0	72.9	26.6	10.0
	有	129.1	-	25.7	10.1

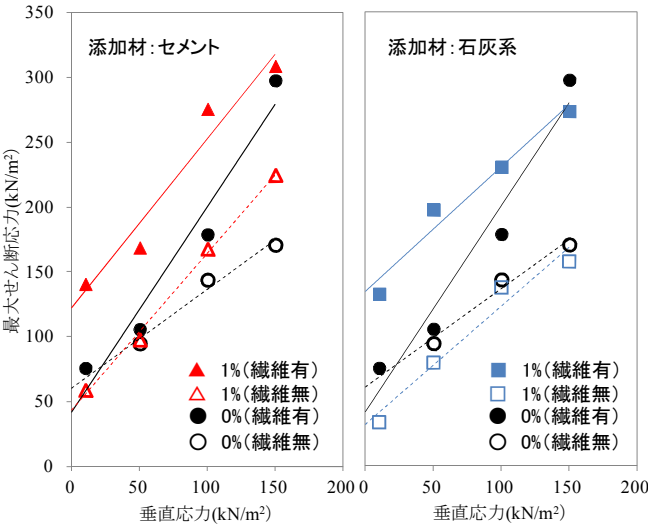


図 3 最大せん断応力と垂直応力の関係(試験 CASE-1)

表 3 試験 CASE-2 の結果

供試体採取地	砂			粘着力 (kN/m ²)				一軸圧縮強度 (kN/m ²)		土壌硬度 (mm)			土壌酸度 (H ₂ O)		
	種類	均等係数	FM 値	無補強土	0%	1%	2%	1%	2%	0%	1%	2%	0%	1%	2%
栃木	砕砂	6.8	3.0	3.7	49.7	<u>63.8</u>	<u>70.7</u>	65.0	90.4	13.7	19.0	25.4	8.6	9.1	10.3
長野①	山砂	5.3	2.7	14.1	80.2	-	<u>146.6</u>	-	35.1	21.0	-	29.7	-	-	9.4
長野②	山砂	4.3	2.3	50.6	56.3	<u>83.9</u>	<u>87.5</u>	49.0	119.8	17.3	17.1	26.8	7.8	8.0	10.0
岐阜	山砂	5.8	3.0	21.2	56.6	45.5	<u>79.3</u>	43.0	65.8	21.6	27.1	29.7	9.5	9.1	9.6
大阪	海砂	4.7	3.0	17.7	(43.9)	<u>54.1</u>	<u>73.7</u>	84.0	122.7	17.3	27.3	28.0	9.5	10.1	10.1
奈良	砕砂	6.6	2.5	42.3	66.0	64.8	<u>119.0</u>	-	-	20.7	25.4	30.1	-	-	10.4
大分	砕砂	7.6	3.1	38.4	86.2	<u>109.3</u>	<u>124.2</u>	61.0	197.0	17.3	24.7	28.6	9.3	9.5	10.1

※ 粘着力は垂直応力 10、50、100kN/m²の最大せん断応力から算出、()内の数字は 100、150、200kN/m²から算出
※ 太字部は無添加(0%)と比較して、粘着力が増加した現場

4. おわりに

本検討の結果により、以下のことが明らかになった。

- ① 石灰系添加材を連続繊維補強土に 1~2%添加することで、低い垂直応力域でせん断強度増強効果が現れ粘着力が増加する。また、その効果はセメントを 1%添加した場合と同程度である。
- ② 石灰系添加材の添加量が 1~2%の範囲であれば、セメント 1%添加に比べ植生への影響は軽微である。
- ③ 石灰系添加材のせん断強度増強効果は、固化した砂質土のせん断強度ではなく、その固結力により繊維の拘束効果が増加したことに起因している。

今後、本検討結果から添加材を混合した連続繊維補強土の設計値を検討すると共に、引き続き検討を進め実施工への活用を進めたい。

参考文献

1) 石垣幸整、三上登、大嶺聖: 添加材による連続繊維補強土のせん断強度増強効果に関する検討、土木学会、平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会 2) 一般財団法人 土木研究センター: 建設技術審査証明報告書「ジオファイバー」、平成 24 年 5 月 3) 社団法人 日本道路協会: 道路土工 切土工・斜面安定工指針、平成 21 年 6 月、P210