

低アルカリ固化材を添加した連続繊維補強土の性能評価

石垣幸整¹・川口貴之²・大嶺聖³・三上登⁴・山下聡⁵

連続繊維補強土は、植生の生育基盤としての機能を有する繊維補強土である。本研究では、安定性の更なる向上のために固化材を添加した連続繊維補強土の性能評価を試みた。具体的には、固化材は比較的植物への影響が少ない低アルカリの固化材を選定し、その添加量は砂乾燥重量比で1～2%とした。また、植物の生育性等による緑化性能の評価に加え、低応力下や浸水条件下でのせん断強度、凍結融解や乾湿繰返しに対する耐久性の評価を実施した。その結果、低アルカリ固化材を1～2%添加すると、特に低応力下でせん断強度が増加し、浸水に伴うせん断強度の低下を低減できることが明らかになった。また、緑化性能や耐久性についても実用上問題がないことが確認され、低アルカリ固化材を添加した連続繊維補強土の有用性が明らかとなった。

キーワード：連続繊維補強土、固化剤、せん断強度、一面せん断試験

1. はじめに

連続繊維補強土とは、砂質土に連続したポリエステル繊維を混合したものであり、繊維の混入によってセメント等の固化材を使用することなく、せん断強度を増加させることが可能である。また、築造時に方向性を持たせた繊維の混合を行うことで、効果的に強度異方性を持たせた補強土の造成が可能である。さらに、セメント添加が不要であることから、植生基盤材としての機能も持ち合わせており、全面緑化が可能な法面保護工として累計施工実績が3,000件を超えている。

しかしながら、昨今、法面保護工の外的環境は変化しつつある。気候変動に伴う集中豪雨の頻度が増加しており、法面保護工にはこれまで以上に高い安定性が要求され始めている。連続繊維補強土についても、裏面排水材や地下排水材を設置することで補強土内の余剰水分が速やかに排出されるようになっているものの、砂質土主体の補強土であるために、集中豪雨時には一時的に飽和度が高くなってせん断強度が低下する可能性もあり、例外ではない。

一方、連続繊維補強土の設計計算用強度定数（粘着力）は100～200kN/m²という比較的大きな垂直応力下で実施された一面せん断試験結果から算出されている。これは開発当初に想定した用途が補強土厚が大きい盛土構造物（擁壁タイプ）であったことや、低応力での試験自体が困難であったためだと推察さ

れるが、先述のように近年は補強土厚が小さい法面保護工（法面保護タイプ）としての施工実績が多く、補強土内の応力はこれより小さいと推測される。しかし、低応力下でも大きな垂直応力で実施した一面せん断試験結果から外挿された粘着力を発揮できるか否かについては明らかになっておらず、これより小さくなることも考えられる。

このような背景から、本研究では連続繊維補強土の安定性を更に向上させることを目的として、固化材を添加した連続繊維補強土の性能評価を試みた。具体的には、固化材は比較的植物への影響が少ない低アルカリの固化材を選定し、その添加量は砂乾燥重量比で1～2%とした。また、植物の生育性等による緑化性能の評価に加え、低応力下や浸水条件下でのせん断強度、凍結融解や乾湿繰返しに対する耐久性の評価を実施した。

2. 試験方法

(1) 使用した砂質土、繊維、固化材

表1は使用した砂質土の物性値である。また、使用した繊維は引張強度3.53cN/T（488N/mm²）以上、伸び率40%以下のポリエステル繊維であり、1m³あたり3.3kgとなるように混合した。なお、砂質土と繊維は連続繊維補強土の規格値を満足するものを使用している。固化材については、主材料が高

¹IGS学生会員，北見工業大学 大学院工学研究科 寒冷地・環境・エネルギー工学専攻（〒090-8507 北見市公園町165番地）（日特建設株式会社 技術本部）

²IGS個人会員，北見工業大学 社会環境工学科 准教授（〒090-8507 北見市公園町165番地）

³地盤工学会員，長崎大学 大学院工学研究科 教授（〒852-8521 長崎市文教町1-14）

⁴地盤工学会員，日特建設株式会社 技術本部（〒103-0004 東京都中央区東日本橋3-10-6平和東日本橋ビル6F）

⁵地盤工学会員，北見工業大学 社会環境工学科 教授（〒090-8507 北見市公園町165番地）

表－１ 使用した砂質土

産地	砂			
	種類	均等係数	75 μ m含有率(%)	FM 値(粗粒率)
茨城	川砂	3.8	1.0	2.4
栃木	砕砂	6.8	2.3	3.0
長野①	山砂	5.3	1.7	2.7
長野②	山砂	4.3	2.2	2.3
岐阜	山砂	5.8	1.9	3.0
長崎	海砂	4.7	1.0	3.0
奈良	砕砂	6.6	2.9	2.5
大分	砕砂	7.6	2.1	3.1

炉水砕スラグと石灰からなる低アルカリ固化材（pH10.5，比重3.2，ブレン値4000cm²/g）であり，砂質土の表乾重量に対する割合で添加した．なお，固化材は低アルカリ固化材の他，比較のために河川護岸に適用する際に侵食防止のため使用されている普通ポルトランドセメントを使用している．

(2) 供試体作製方法

a) 小型乾式吹付機による室内作製供試体

図－１は連続繊維供試体作製のために開発された小型乾式吹付機と作製方法に関する概略図である．供試体（以下，室内作製供試体）は実施工と同じ密度になるようにし，所定の角度 α に傾けた傾斜台の上にモールドを載せて作製した．なお，連続繊維補強土は施工面（繊維の打設角度）とせん断面のなす角度 α が大きいほどせん断強度が増加することが知られている¹⁾．また，吹付機の性質上， α を大きくすると供試体間のバラツキが大きくなる恐れがあったため，室内作製供試体は後述の屋外作製供試体とは異なり， $\alpha=15^\circ$ で作製した．

b) 湿式吹付機による屋外作製供試体

写真－１は実施工で用いる湿式吹付機（AG-300）によって屋外で供試体（以下，屋外作製供試体）を作製している様子と供試体を示したものであり，作製角度 α は 30° とした．

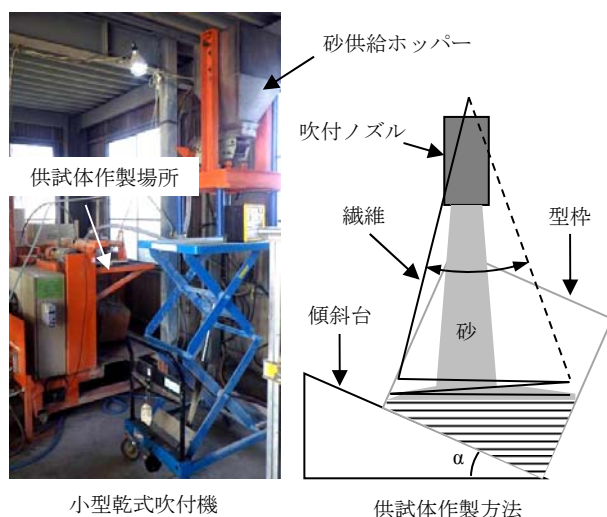
(3) 試験方法

a) 非浸水条件下での一面せん断試験

図－２は連続繊維供試体専用開発された一面せん断試験装置であり，試験は「ジオファイバー工法」設計・施工マニュアル¹⁾に準じて実施した．なお，供試体は1辺300mmの直方体であり，せん断箱間隔は0.2mm，せん断速度は1mm/minである．

b) 浸水条件下での一面せん断試験

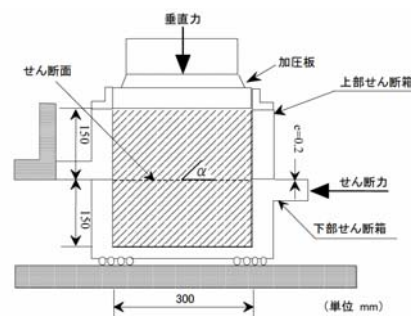
写真－２は浸水させた供試体の定圧一面せん断を行うために使用した試験装置²⁾である．供試体については，前述の屋外作製供試体の中心部を1辺120mmの直方体に切り出したものを使用した．なお，切り出し時には繊維の引き抜けによる供試体の乱れを防ぐ目的で，可能な限り砂のみを先に整形し，その後に繊維を切り取った．また，せん断箱間隔は0.2mm，せん断速度は0.4mm/minである．浸水については，せん断箱が設置された水浸箱内に，3時間



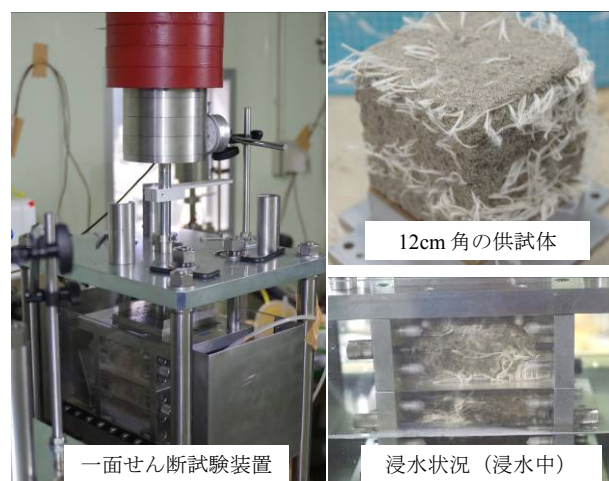
図－１ 小型乾式吹付機と供試体作製方法概略



写真－１ 屋外作製供試体の採取状況と採取した供試体



図－２ 一面せん断試験装置概要



写真－２ 一面せん断試験装置と供試体及び浸水状況

程度の時間をかけて少しずつ脱気蒸留水を満たすことで行った。

c) 一軸圧縮試験

一軸圧縮試験の供試体は、実施工で用いる湿式吹付機で作製した。供試体はプラスチック製のモールド ($\phi 100 \times 200\text{mm}$) に採取し、脱型直後に石膏にて上面をキャッピングした。なお、供試体採取や結果の解釈が困難になるため、繊維は混合していない。

3. 緑化性能の評価

(1) 試験方法

表-2は緑化性能に関する測定項目とその方法をまとめたものである。植生の生育確認はポット試験 (1/5000a ワグネルポット) により実施した。生育期間は3ヶ月とし、供試植物としてコマツナ (*Brassica campestris* var. *peruviridis*) を使用した。連続繊維補強土と同様の生育条件を再現するため、ポットには厚さ15cmの砂質土 (茨城) を敷き詰め、その上に植生基材吹付工と同様の配合で植生基盤材を厚さ3cmに敷き詰めた。なお、生育とは無関係だと考えられるため、繊維は混合していない。供試体は試験水準毎に同様の配合のものを3個作製し、各種測定を実施した。試験場所は降雨の当たらない室内とし、撒水は適宜実施した。なお、土壌硬度、土壌pHはポット試験に加え、屋外作製供試体 (茨城) を用いて測定し、ポット試験における土壌硬度、土壌pHは、生育基盤を敷き詰めない供試体を作製し、その表面を測定した。

(2) 試験結果・考察

表-3は緑化性能の評価に関する試験結果をまとめたものである。土壌硬度については、セメントを1%添加したポット試験の土壌硬度が28mmと突出した値を示した。これに対して、低アルカリ固化材を1~2%添加した場合、無添加と同程度の値を示した。また、同じ砂質土を使用した屋外作製供試体でもセメント添加したものよりも低かった。

次に、土壌pHについてはセメントを添加した供試体が最も大きな値を示し、その値は概ねpH11程度であった。一方、低アルカリ固化材を添加した供試体は概ねpH9.0~10.0程度であり、屋外作製供試体でも同様であった。

写真-3は生育高と根系伸長深との比較である。植物の生育に関する試験結果では、セメントを1%添加した供試体が全ての測定項目 (表-3参照) に関して、他の供試体よりも低い値を示した。特に、根系伸長深は大きく劣る結果となった。一方、低アルカリを1~2%添加した供試体は、生育高、地上部重量に関しては無添加と同程度の生育状況であった。根系伸長深は添加量が増加するにつれて小さくなっているが、セメントを1%添加した供試体よりは大きい。ここで、セメントを1%添加した供試体

表-2 測定項目

測定項目	方法
土壌硬度	NEXCO試験法601 (山中式土壌硬度計)
土壌pH (H ₂ O)	NEXCO試験法602 (ガラス電極式)
生育高	播種後9日目に間引きをおこない3本/ポットに揃えたものを測定
地上部重量	播種後51日の堀取り時に測定 (湿潤重量)
根系伸長深	播種後51日の堀取り時に測定

表-3 緑化性能の試験結果

測定項目	固化材の種類と混合量			
	無添加 0%	セメント 1%	低アルカリ 1% 2%	
土壌硬度 (mm)				
ポット試験	9.7	28.0	11.0	15.7
屋外作製供試体	21.4	27.3	25.5	25.7
土壌 pH (H ₂ O)				
ポット試験	8.0	11.1	9.6	10.2
屋外作製供試体	8.5	10.8	9.1	10.1
生育高 (cm)	18.3	15.4	19.6	18.7
根系伸長深 (cm)	15.0	5.0	13.0	10.0
地上部重量 (g)	176.6	120.2	194.4	168.6

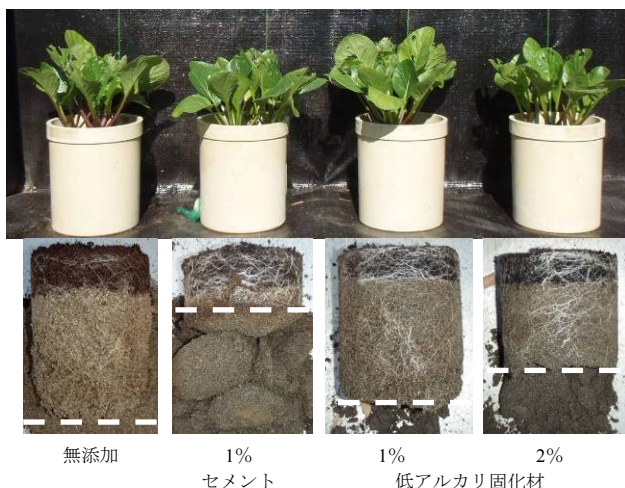


写真-3 生育高と根系伸長深との比較

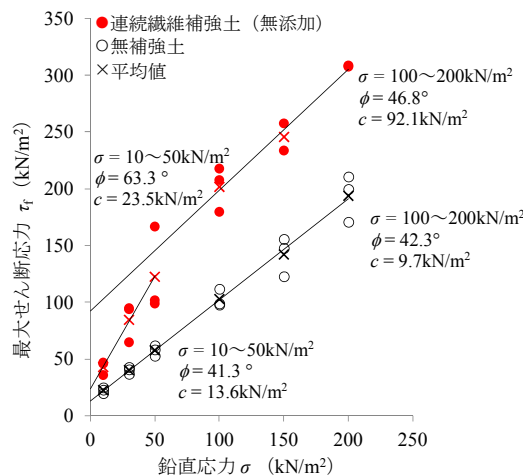


図-3 最大せん断応力 τ_f と鉛直応力 σ との関係① (室内作製供試体 ($\alpha = 15^\circ$), 砂質土: 茨城)

において、根系の伸長が大きく妨げられているにも関わらず、生育高にそれほど大きな差が生じていないことについては、表面に施した 3 cm の植生基材が大きく寄与したためだと考えている。しかし、根系伸長深の生育が大きく妨げられていることから、法面の様な乾燥条件下においては、地上部に大きな差が現れる可能性が高いと考えている。

以上のことから、土壌硬度、土壌 pH、生育性の全ての点について、低アルカリ固化材を 1～2% 添加のものがセメントを 1% 添加したものよりも植物の生育に適した基盤であると判断した。当然、無添加のものと比較すれば、生育基盤としての適用性はやや劣るが、表面に植生工を施すことを考慮すれば実用上問題ないと考えている。ただし、植物の生育に適正な土壌硬度の範囲は砂質土で 10～27mm であり、30mm を超えると根系の伸長が不可能となると言われている³⁾。低アルカリ固化材でも砂質土の種類と混合量によっては、土壌硬度が 30mm を超えることも予想され、混合量については詳細な検討が必要だと考えている。

4. せん断強度の評価

(1) 低応力下のせん断強度

図-3 は室内作製供試体を用いた一面せん断試験結果から得られたせん断強さ τ_f と垂直応力 σ との関係を示したものである。 σ は低応力下でのせん断特性についても把握するため、 $\sigma = 10, 30, 50, 100, 150, 200 \text{ kN/m}^2$ とし、せん断は簡易定圧一面せん断試験とした。比較的大きな $\sigma = 100 \sim 200 \text{ kN/m}^2$ の試験から得られた τ_f を外挿して求めた c は 92.1 kN/m^2 であるのに対し、比較的小さな $\sigma = 10 \sim 50 \text{ kN/m}^2$ の試験からは $c = 23.5 \text{ kN/m}^2$ とかなり小さな値になることが分かる。この値は連続繊維補強土の設計値 19 kN/m^2 ($\alpha = 15^\circ$) を下回っていないものの、この結果は σ が小さくなるにつれて繊維の拘束効果が弱まり、低応力下の τ_f が相対的に小さくなっていることによるものと推察される。実際の連続繊維補強土内の応力については不明な点が多いが、既往の研究⁴⁾では、補強土厚が 50cm の場合、 $\sigma = 30 \sim 150 \text{ kN/m}^2$ であることが報告されている。しかし、補強土厚が 20cm の法面保護タイプでは更に小さくなることも予想され、 $\sigma = 100 \sim 200 \text{ kN/m}^2$ での試験結果から算出した c は補強土の粘着力を過大評価している可能性もあり、今後更なる検討が必要だと考えている。

(2) 固化材による増強効果

図-4 は産地の異なる砂質土に低アルカリ固化材を添加した屋外作製供試体の内、代表的な供試体（茨城）から得られた τ_f と σ ($\sigma = 10, 50, 100, 150 \text{ kN/m}^2$) の関係を示したものである。なお、供試体の材齢は 28 日とした。連続繊維補強土に低アルカリ固化材を添加することで、特に低応力域でせん断強度が増加していることが分かる。また、繊維を混合

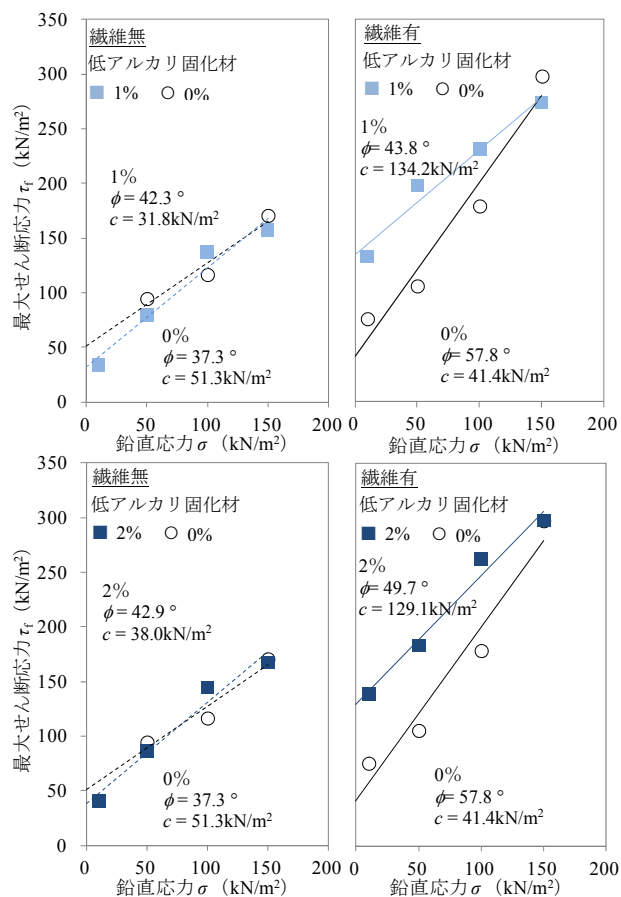


図-4 最大せん断応力 τ_f と鉛直応力 σ との関係②
(屋外作製供試体 ($\alpha = 30^\circ$), 砂質土: 茨城)

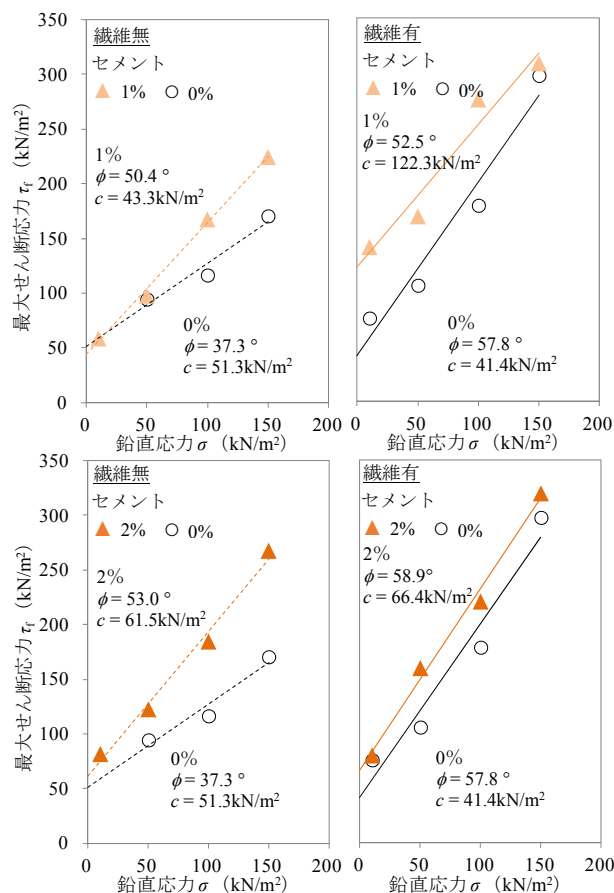


図-5 最大せん断応力 τ_f と鉛直応力 σ との関係③
(屋外作製供試体 ($\alpha = 30^\circ$), 砂質土: 茨城)

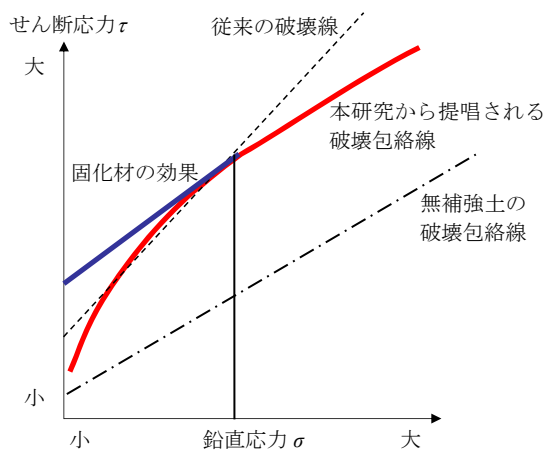


図-6 低応力下におけるせん断強度や低アルカリ固化材の増強効果に関する概念図

していない供試体では τ_f の増加がほとんど見られないことから、 τ_f の増加は砂質土自体の固化（砂粒子の固結）によるものではなく、固化材が繊維と砂質土を繋ぐバインダーの様な効果を果たし、繊維の拘束効果が高まったためだと考えている。また、 σ が大きくなるほど τ_f の増加値が小さくなっていることについては、 σ の増加によって固化材による拘束効果が失われた⁹⁾というよりも、むしろ σ の増加による繊維の拘束効果が固化材の効果よりも大きく上回ったためではないかと考えている。

図-5は先述の砂質土（茨城）にセメントを添加した屋外作製供試体から得られた τ_f と σ （= 10, 50, 100, 150 kN/m²）の関係を示したものである。セメントを添加した場合、繊維が混合されてなくても増強効果があるが、繊維が混合されていると低アルカリ固化材を1～2%添加した供試体と比べて低応力域では同程度かそれ以下の増強効果しかないことが分かる。これについては、セメントには低アルカリ固化材に比べて砂質土自体の固化によって τ_f を増加させる効果はあるが、添加率2%ではほとんど増強効果が見られないことから、セメントの添加量を増やし過ぎると繊維にダメージを与え、繊維の拘束効果が低下するためだと考えている。

図-6は連続繊維補強土の低応力下におけるせん断強度や低アルカリ固化材の増強効果に関してまとめた概念図である。固化材が添加されていない連続繊維補強土について、従来は τ_f と σ との関係から外挿される破壊線が直線だと想定し、設計計算用強度定数である c や ϕ を算出している。しかし、本研究結果から考えると、無補強土に対する τ_f の増加量が σ とともに大きくなる範囲と、ほぼ一定となる σ の範囲があり、破壊包絡線は直線にならないと考えられる。そして、低アルカリ固化材の効果は前者の範囲で現れ、これによって連続繊維補強土の c を大きく増加させると考えられる。また、これらの範囲

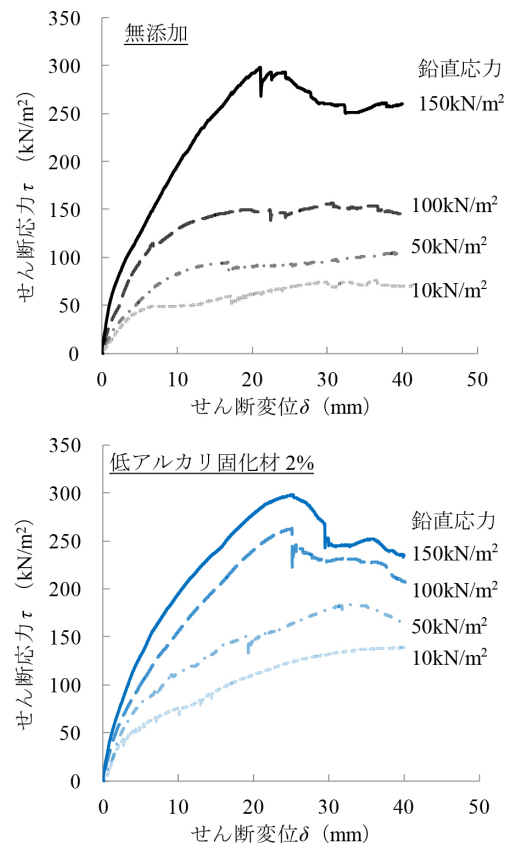


図-7 せん断応力 τ とせん断変位 δ との関係①（屋外作製供試体（ $\alpha=30^\circ$ ），砂質土：茨城）

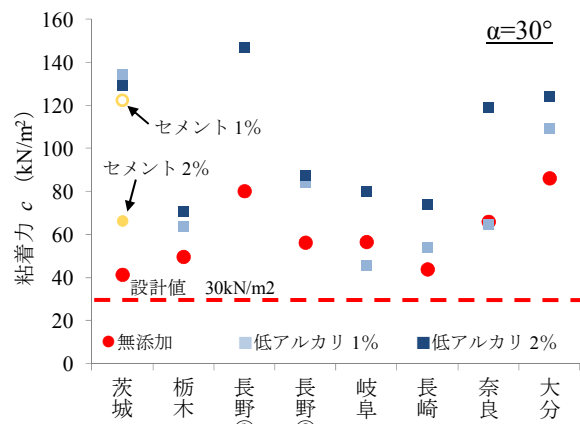


図-8 一面せん断試験より算出した粘着力 c

の境界となる σ は使用する砂質土の締固め度や繊維の引張強度等に依存して変化すると推測される。ここで、三軸圧縮試験を用いた既往の研究⁶⁾では、無補強土に比べて連続繊維補強土の ϕ が増加することが報告されている。しかし、これらのことを考えれば、既往の研究における三軸圧縮試験が単に τ_f の増加量が σ とともに大きくなる範囲内（50～200kN/m²）で行われたためだと考えられる。よって、連続繊維補強土の設計強度定数を算出するためには、補強土に作用している σ を把握することが極めて重要だと考えられる。

図-7は低アルカリ固化材無添加と2%添加した

表－４ 一軸圧縮試験結果

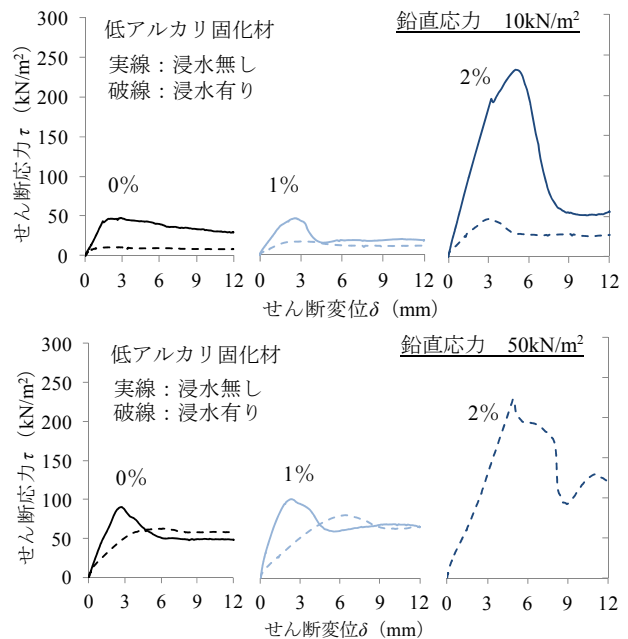
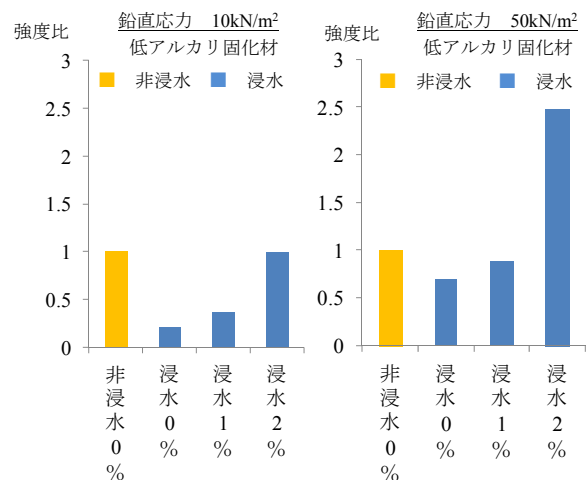
産地	一軸圧縮強さ q_u (kN/m^2)			
	低アルカリ固化材		セメント	
	1%	2%	1%	2%
茨城	59.6	72.9	143.0	238.0
栃木	65.0	90.4	-	-
長野①	-	35.1	-	-
長野②	49.0	119.8	-	-
岐阜	43.0	65.8	-	-
長崎	84.0	122.7	-	-
奈良	-	-	-	-
大分	61.0	197.0	-	-

屋外作製供試体（茨城）のせん断応力 τ とせん断変位 δ との関係を比較したものである。固化材を添加すると脆性的な破壊となり、ピーク時の水平変位が大きく粘り強いという連続繊維補強土の特徴が失われてしまうことが懸念されるが、添加率が2%以下であればそのような脆性的な挙動になっていないことが分かる。また、降伏後にやや脆性的な挙動が見られるが、ピーク後の同一水平変位でのせん断応力は無添加の連続繊維補強土よりも大きい。

図－8は産地の異なる砂質土を用いた屋外作製供試体の一面せん断試験結果から得られた c を比較したものである。低アルカリ固化材を添加することで、バラツキはあるものの、無添加よりも増加することが分かる。また、2%程度添加すれば設計値である 30kN/m^2 ($\alpha=30^\circ$)を確実に大きく上回ることが確認できる。ただし、その程度は産地によって異なるため、詳細な添加量の決定方法については今後更なる検討が必要だと考えている。ここで、産地によって程度が異なる理由については、固化材による繊維の拘束効果が砂粒子の形状など、砂質土の性質によって変化するためだと考えている。

以上のことから、本研究で用いた低アルカリ固化材を添加すれば緑化性能に影響を与えない1～2%の添加量でも、従来と同様の粘り強さを発揮し、とりわけ低応力下の τ_f が増加することが分かる。すなわち、使用した固化材はセメントに比べて連続繊維補強土の特性を生かし、より安定性の向上に寄与するものだと考えられる。また、連続繊維補強土は異方性を発現することが知られており⁶⁾、異方性があることに加え繊維が長いために繊維の効果が非常に現れやすい補強土だと考えられる。本研究のような僅かな添加量で低応力下の τ_f が増加したのは、そのような連続繊維補強土の特性が効果的に生かされたためだと考えられる。

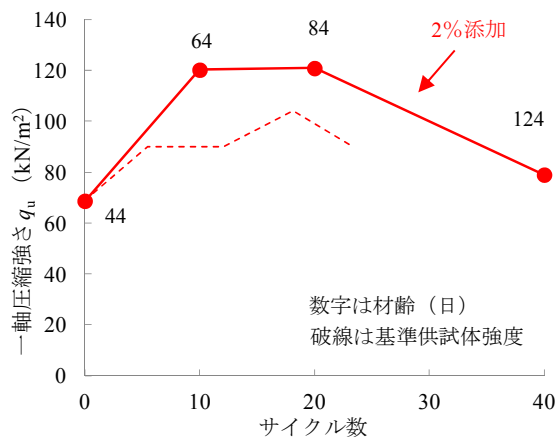
一方、表－4は一面せん断試験と同様の添加量で作製した屋外作製供試体の一軸圧縮試験結果である。低アルカリ固化材を添加した供試体の一軸圧縮強さ q_u は、セメントを添加したものよりもかなり低い値を示すことが分かる。本試験では q_u と c の間に明確な相関は見出せなかったが、 q_u は土壌硬度とも密接な関係があることから、品質管理に役立てることを見据え、所定の c を得るために必要な q_u についても検討していきたいと考えている。

図－9 せん断応力 τ とせん断変位 δ との関係②
(屋外作製供試体 ($\alpha=30^\circ$), 砂質土: 茨城)図－10 非浸水0%を基準とした時の強度比
(屋外作製供試体 ($\alpha=30^\circ$), 砂質土: 茨城)

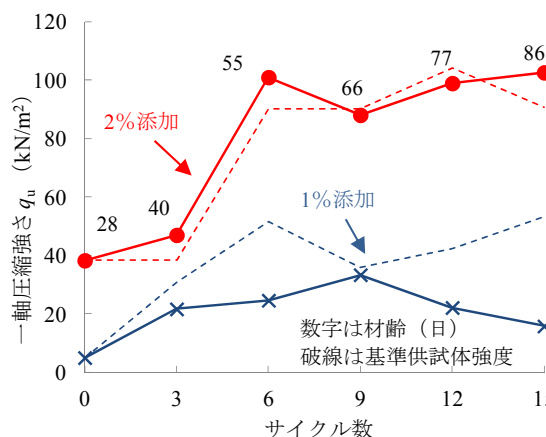
(2) 浸水条件下のせん断強度

図－9は浸水の有無による τ ～ δ 関係の違いを比較したものであり、使用した供試体は先述のように屋外作製供試体を1辺120mmの直方体に切り出したものである。低アルカリ固化材の添加量によらず、浸水させることで連続繊維補強土の τ_f は低下し、特に σ が小さい場合に顕著であることが分かる。なお、浸水無し2%の試験については、 τ_f が試験装置の計測範囲を超えたため、図中に示していない。

図－10は浸水条件下で得られた τ_f と、非浸水条件下で固化材添加率0%の供試体から得られた τ_f との比を比較したものである。 $\sigma=10\text{kN/m}^2$ では添加量が増えるにつれ、非浸水条件下の τ_{max} に近づいていることが分かる。また、 $\sigma=50\text{kN/m}^2$ では低アルカリ固化材を添加することで非浸水条件下の τ_f を大きく超えており、低アルカリ固化材を1～2%添加



図－１１ 凍結融解に伴う一軸圧縮強さ q_u の推移 (砂質土：茨城)



図－１２ 乾湿繰返しに伴う一軸圧縮強さ q_u の推移 (砂質土：茨城)

することで、浸水によるせん断強度の低下を抑制できることが分かる。これについては、低応力下では固化材による繊維の拘束効果が浸水によるサクシンの消失等による強度低下を抑え、 σ が大きくなると σ による繊維の拘束効果がこれに加わったためだと考えている。

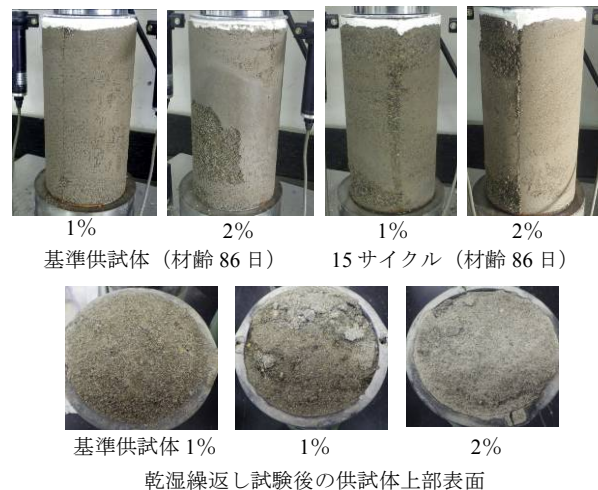
5. 耐久性の評価

(1) 凍結融解

図－１１は凍結融解に伴う q_u の変化を示したものである。凍結・融解はそれぞれ 24 時間とし、1 サイクルを 48 時間とした。また、凍結は -30°C の冷凍キャビネットを使用し、融解は $+30^{\circ}\text{C}$ に設定した恒温乾燥機を使用した。なお、凍結融解履歴を与えた供試体は先述した一軸圧縮試験のための供試体作製モールドに入れたまま、水分変化を抑える目的で全体をラップで覆っている。20 サイクルまで q_u の低下は確認できないが、40 サイクルではわずかに低下していることが分かる。写真－４は凍結融解履歴を与えていない基準供試体と凍結融解履歴を与えた供試体の様子であるが、40 サイクル後の供試体は基準供試体に比べて表面付近が崩れやすく、劣化がやや進んでいるような状態であった。しかし、40



写真－４ 基準供試体と凍結融解供試体



写真－５ 基準供試体と乾湿繰返し試験供試体

サイクル後の q_u は 0 サイクルの q_u を上回っており、20 サイクル程度までの基準供試体から得られた q_u と比べても大きく低下していないことから、40 サイクル時点でも連続繊維補強土の拘束効果を高める固化材の効果は十分にあると判断できる。

(2) 乾湿繰返し

図－１２は乾湿繰返しに伴う q_u の変化を示したものである。24 時間の浸水後に 48 時間乾燥させ、1 サイクルを 72 時間とした。なお、乾燥履歴は 40°C に設定した恒温乾燥機内に設置することで与えた。また、実験中断期間があるため、図中に示した材齢はサイクル数から算出される材齢と必ずしも一致しない。図中には乾湿繰返し履歴を与えていない基準供試体の試験結果も示しており、これと比較しても低アルカリ固化材を 2% 添加した供試体では、15 サイクルまで q_u の低下は見られない。しかし、1% 添加の供試体では 0 サイクルの q_u は下回っていないものの、9 サイクル以降で q_u の低下が確認できる。写真－５は基準供試体と乾湿繰返し履歴を与えた供試体の様子であるが、特に 1% 添加した供試体では基準供試体に比べて表面が崩れやすくなっており、劣化が進んでいることが伺える。

これらの試験で使用した供試体には繊維を混合していないため、繊維が凍結融解や乾湿繰返し履歴にどの程度の影響を与えるのかについては不明である。しかし、繊維状の古紙破砕物を固化処理土に混合することで凍結融解や乾湿繰返しに対する抵抗が大き

く増加するとの研究成果や⁷⁾、植生による断熱効果で凍結深が浅くなるといった研究成果⁸⁾があることを考えると、連続繊維補強土の表面に植生基材吹付工を施す実環境では本試験結果に比べて凍結融解や乾湿繰返しの影響は小さいと考えられる。以上のことから、緑化性能に影響を与えない範囲の添加量であっても、低アルカリ固化材を添加した連続繊維補強土の凍結融解や乾湿繰返しに対する耐久性は十分にあると判断できる。ただし、試験時の含水比や繊維混入の有無による影響については不明であるため、今後の更なる検討が必要だと考えている。

6. まとめ

本研究の結果、低アルカリ固化材を 1~2% 添加した連続繊維補強土について得られた知見を以下にまとめる。

- ・ 土壌硬度、土壌 pH、植物の生育試験の結果より、セメントを 1% 混合したものよりも植物の生育に適した基盤であり、表面に植生基材吹付工を施すことを考慮すれば、植生基盤として実用上十分な緑化性能があることが分かった。
- ・ 10~50 kN/m² の小さな σ で実施した一面せん断試験から得られた τ_f を外挿して求めた c は、50~200 kN/m² の試験から求めた c よりもかなり小さくなることが明らかになった。しかし、固化材を添加することで特に低応力域の τ_f が増加し、それに伴って c も増加することが分かった。
- ・ 無添加の連続繊維補強土と同様にピーク時の水平変位が大きく、粘り強い補強土であることが確認された。
- ・ 浸水させると τ_f は低下し、特に σ が小さい場合に顕著であった。しかし、固化材を添加することで τ_f の低下を抑制することが分かった。
- ・ -30~+30℃ の 40 サイクルに及ぶ凍結融解や 15 サイクルの乾湿繰返し履歴を与えても十分な耐久性があることを確認した。

最後に、以上の結果から低アルカリ固化材の添加量は 1~2% が望ましいと考えられるが、効果の程度については使用する砂質土によって多少異なる。よって、より具体的な添加量を決定するには、今後補強土内で実際に作用する σ を把握することや、産地によって固化材の効果が異なる要因について更に検討していく必要があると考えている。

謝辞：本研究の実施にあたり、北見工業大学の畑中将志氏（現日特建設株式会社）、佐々木貴氏には多大なる協力を頂いた。また、低アルカリ固化材は東武化学株式会社の小堀茂氏に提供して頂いた。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木研究センター：法面保護用連続繊維補強土「ジオファイバー工法」設計・施工マニュアル，2009。
- 2) 佐々木貴，川口貴之，中村大，山下聡：凍結融解履歴の有無による締固めた細粒土の一面せん断挙動の違い，地盤工学会北海道支部技術報告集，Vol. 54，pp. 69-74，2014。
- 3) 日本道路協会：道路土工・切土工・斜面安定工指針，p.210，2009。
- 4) 久楽勝行，三木博史，中山覚博，藤木広一：連続長繊維を用いた補強土壁を有する実物大盛土の降雨実験と安定解析，土木学会論文集，No. 427/VI-14，pp. 223-232，1991。
- 5) 澁谷啓，三田地利之，小澤裕：セメント混合砂の変形・強度特性における時硬性および拘束圧履歴依存性，土木学会論文集，No. 687/III-56，pp. 249-257，2001。
- 6) 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」，2012。
- 7) 森雅人，高橋弘，熊倉宏治：繊維固化処理土の乾湿繰返し試験による耐久性に関する実験的研究，資源と素材，Vol. 121，pp. 37-43，2005。
- 8) 佐藤厚子，西本聡，鈴木輝之，中村大：植物の断熱効果を利用した寒冷地ののり面保護についてー凍上によるのり面の変状抑制の可能性，寒地土木研究所月報，No. 696，2011。

PERFORMANCE EVALUATION OF CONTINUOUS FIBER REINFORCED SOIL MIXED WITH LOW-ALKALI SOLIDIFYING AGENT

Yukito ISHIGAKI, Takayuki KAWAGUCHI, Kiyoshi OMINE,
Noboru MIKAMI and Satoru YAMASHITA

Continuous fiber reinforced soil is fiber reinforced soil having the function of serving as a vegetation growth base. This study attempted to evaluate the performance of continuous fiber reinforced soil to which a solidifying agent is mixed for the purpose of improving stability. It was found that the addition of 1-2 percent of the low-alkali solidifying agent resulted in an increase in shear strength, in particular under low confining pressure, as well as in a lower decrease in shear strength under submerged conditions. It was also confirmed that there were no practical problems regarding the greening performance and the durability to freeze-thaw or dry-wet cycles. These findings demonstrate the usefulness of continuous fiber reinforced soil mixed with low-alkali solidifying agent.

KEYWORDS: Continuous Fiber Reinforced Soil, Solidifying Agent, Shear Strength, Box Shear Test