

セメント系固化材による固化処理土への
緑化に関する研究

社団法人 セメント協会

序にかえて

建設工事に伴って発生する土は、年々増加するものの、その処分地の確保が難しくなっている。そのため処分地が遠隔化し、搬出に伴う費用も増加する傾向にあり、建設発生土の再生利用の促進が求められている。また、宅地・工場用地造成、公園・緑地造成、道路盛土・堤防等の建設工事では、従来、現場近くの土取場から良質土を入手していたが、近年、良質土の入手も難しくなりつつある。建設発生土の再利用は、これらの問題を解決する、きわめて有用な技術として、建設省も総合技術開発プロジェクトで取り上げ、「建設発生土利用技術マニュアル」としての取り纏めもなされている。マニュアルにおいては、強度の不足する発生土は、セメント系材料等で安定処理をして利用できるとされているように、低品質土の有効利用時には、セメント系固化材を利用する場面が増加している。

一方、近年では、セメント系固化材を用いて改良された宅地・工場用地、道路・堤防等の盛土において、修景や環境改善効果を高めるために緑化が求められることが少なくない。しかし、セメント系固化材で固化処理をした地盤は、土質工学的に一定の強度水準を有することが要求されているため、転圧を伴い、土壌としては高い硬度をもつことになる。また、セメント系材料は元来アルカリ性を有しているため、固化処理土も当所強いアルカリ性を伴う土壌環境となる。これらの条件は、植生基盤としては、かなり劣悪な条件となることが予想されるが、セメント系固化材で固化処理された地盤の緑化のための条件や植生に及ぼす影響等については、明らかになっていなかった。

今般、(社)セメント協会では、セメント系固化材による固化処理土への緑化の可能性を検討することを目的に、セメント系固化材推進専門委員会のもとに植生に関する検討ワーキンググループを設置し、東京農業大学地域環境科学部造園科学科と共同で、以下のような一連の実験を実施してきた。

- ①セメント系固化材が添加された土壌条件下における発芽、初期生育の可能性
- ②締固まった土壌面への播種方法の違いによる発芽、初期生育への影響
- ③上記予備実験結果に基づき、セメント系固化材で固化処理された盛土斜面の緑化実験
- ④セメント系固化材で固化処理された土壌条件で生育している緑化植物への施肥効果

この結果、播種条件として泥吹きを行えば、発芽、初期生育が可能であること、固化材添加量の増大に伴う高い土壌硬度条件では、根系の発達、地上部の生育が抑制されるが、施肥条件を整えることで地上部の伸長促進も可能であること等が明らかになった。

本研究成果が、今後セメント系固化材によって固化処理された土壌の緑化を計画する上で活かされるとともに、植生の永続性に関する調査資料の収集を図られることを期待したい。

1998年5月

東京農業大学地域環境科学部

教授 近藤三雄

助手 飯島健太郎

は じ め に

セメント系固化材は、従来から軟弱地盤の改良材として重要な役割を果たしてきたが、近年では、流動化処理土や建設汚泥処理などのように建設発生土の再利用を促進するために不可欠な材料の一つとして捉えられつつあり、産業廃棄物処理という環境問題に貢献できる材料として評価を得てきている。

しかし、地盤工学の中ではセメント系固化材は、基本的に強度を高め、透水性を減少させる等の物理的な働きのみを要求されてきたが、環境工学あるいは農学上では、植生そのものへの影響さらに緑化等の植生基盤としての可能性までも問われはじめている。

基本的に、セメント系固化材による固化処理土は、セメントに起因する高いアルカリ性と固化による土壌としての柔らかさの喪失を伴い、植物の生育には適さないものとして扱われてきた。このため、一般には、少なくとも20cm以上の覆土を施すことが薦められてきたが、一方では、経年とともに固化処理土面に雑草等が生育している事例も数多く観察されてきた。したがって、固化処理土における植生の諸問題については、これまでほとんど系統的な取り組みがなされて来なかったといっても過言でない。

セメント協会では、上記の課題ならびに固化処理土への緑化可能性を明らかにする目的で、平成6年にセメント系固化材推進専門委員会のもとに、植生に関するワーキンググループを設置し、東京農業大学地域環境科学部造園科学科 近藤三雄教授、飯島健太郎助手の御指導を仰ぎながら、共同で一連の実験を実施してきた。本研究報告は、3年余に及ぶ予備実験から現場実験の結果を取り纏めたものである。

本報告書が、セメント系固化材による固化処理土への緑化計画あるいは施工に資することができれば、幸いである。

最後に、本研究において、長期にわたり御指導をいただいた東京農業大学 近藤三雄教授、飯島健太郎助手ならびに現場試験の場を与えて頂いた鹿島建設株式会社新木工事事務所 大坂所長に深く感謝申し上げます。

1998年5月

社団法人 セメント協会
セメント系固化材推進専門委員会
植生ワーキンググループ

目 次

1. セメント系固化材が添加された土壌条件下での発芽と初期生育について.....	1
1) 発芽について.....	1
2) 初期生育について.....	4
3) まとめ.....	11
2. 播種方法の差異(直播きと泥吹き)による発芽、生育について.....	12
1) 直播きについて.....	16
2) 泥吹きについて.....	18
3) まとめ.....	24
3. セメント系固化材の添加された盛土斜面での発芽、生育について.....	25
1) 発芽成立本数について.....	32
2) 初期生育について.....	37
3) まとめ.....	43
4. セメント系固化材が添加された土壌における緑化用植物の生育と施肥の効果について...	44
1) ポット実験について.....	44
2) 盛土斜面での実験について.....	49
3) まとめ.....	51
5. まとめ.....	52
資料-1 関連発表論文.....	55
資料-2 関連新聞記事.....	65

1. セメント系固化材が添加された土壌条件下での発芽と初期生育について

盛土面への緑化の多くは播種工によって行われる。そこでセメント系固化材が添加された土壌においては、播種後まず発芽するかどうか、発芽した場合には初期の生育が順調に営まれるかどうか重要なポイントとなる。また、この点については固化材の添加量の違いにも影響されることが考えられるが、十分明らかになっていないといえない。

そこでセメント系固化材の添加量の違いによる数種緑化用植物の発芽と初期生育について検討を行った。その概要と結果を以下に述べる。

1) 発芽について

セメント系固化材の添加量の異なる土壌における発芽実験を3種の緑化用植物、ケンタッキー・31・フェスキュー、オオキンケイギク、イタチハギについて行った(表-1)。実験容器にはシャーレを使用し、黒ぼく土の下層土(5mm目のふるいを通す)にセメント系固化材を0、50、100、150、200、250kg/m³に添加する6実験区を設け播種した。

表-1 固化材の添加量の異なる条件下における緑化用植物3種の発芽率

草 種	添加量 kg/m ³	20日後	(’95 6/26)	63日後	(’95 8/7)
		発芽数(本)	発芽率(%)	発芽数(本)	発芽率(%)
ケンタッキー 31 フェスキュー	0	27.67 a	55.33	23.00 cd	46.00
	50	28.00 a	56.00	33.00 ab	66.00
	100	27.67 a	55.33	37.33 a	74.67
	150	29.00 a	58.00	29.33 abc	58.67
	200	23.67 a	47.33	26.67 bcd	53.33
	250	28.33 a	56.67	17.33 d	34.67
オオ キンケイギク	0	21.33 ab	42.67	20.67 ab	41.33
	50	27.67 a	55.33	27.33 a	54.67
	100	18.33 cd	36.67	15.67 b	31.33
	150	20.67 bcd	41.33	4.33 c	8.67
	200	21.67 ab	43.33	3.33 c	6.67
	250	13.67 d	27.33	0.00 c	0.00
イタチハギ	0	5.00 ab	10.00	16.67 ab	33.33
	50	5.67 ab	11.33	20.67 a	41.33
	100	8.33 a	16.67	12.00 abc	24.00
	150	5.00 ab	10.00	4.67 bc	9.33
	200	2.67 bc	5.33	3.33 c	6.67
	250	0.67 c	1.33	3.33 c	6.67

注) 異なるアルファベット間で5%水準で有意差のあることを示す(Duncan法)。実験は、東京農業大学研究棟室内で行った。実験容器にはシャーレを用意し、黒ぼく土の下層土(5mm目のふるいを通す)にセメント系固化材を0、50、100、150、200、250kg/m³に添加する6区を設けた。各実験区、各供試植物3反復で実験を行った。1シャーレあたり50粒を1995年6月5日に播種した。発芽成立本数は播種後20日後(6月26日)と63日後(8月7日)に行った。

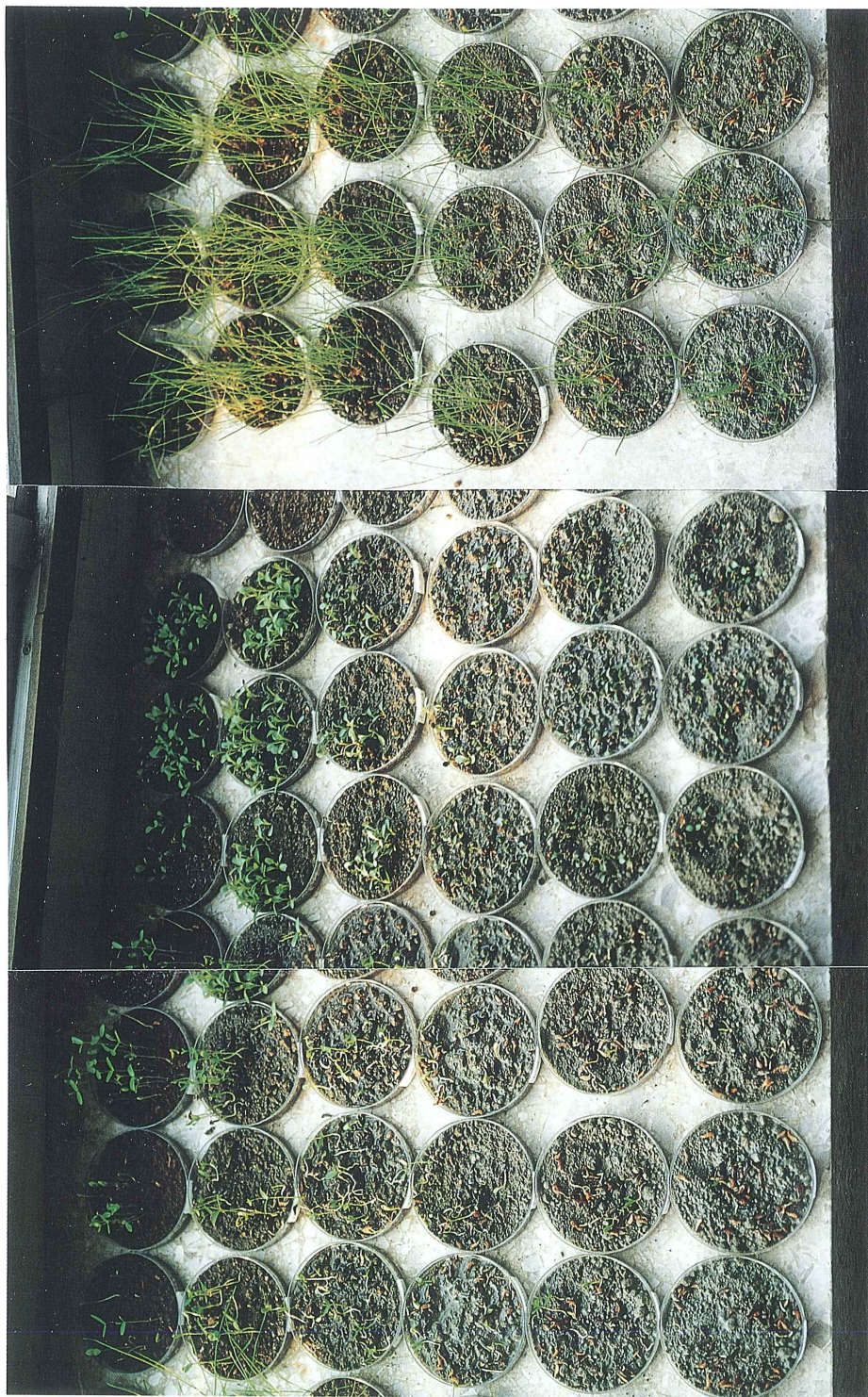
その結果、播種から20日後に、いずれの添加量においてもケンタッキー・31・フェスキュー、オオキンケイギクは50%前後の発芽率を得た(写真-1)。但し、オオキンケイギクは、添加量150kg/m³以上の場合に一度発芽したものが後に枯れ込む現象が観察された。イタチハギは発芽



写真-1 セメント系固化材の添加量の異なる条件下における3種緑化用植物の播種から20日後の様子

注) 上からケンタッキー・31・フェスキュー、オオキンケイギク、イタチハギ、左から固化材の添加量0、50、100、150、200、250kg/m³区

が遅く、播種から63日後では0～100kg/m³で発芽率20～40%、150kg/m³以上では10%以下であった（写真－2）。



写真－2 セメント系固化材の添加量の異なる条件下における3種緑化用植物の播種から63日後の様子

注) 上からケンタッキー・31・フェスキュー、オオキンケイギク、イタチハギ、左から固化材の添加量0、50、100、150、200、250kg/m³区

2) 初期生育について

セメント系固化材の添加量の異なる土壌における発芽生育実験をケンタッキー・31・フェスキューを供試植物として行った。実験容器には1/5000aワグネルポットを使用し、黒ぼく土の下層土(5mm目のふるいを通過)にセメント系固化材を0、50、100、150kg/m³添加する4実験区に、圧搾器による締固めを加える区と加えない区を設け播種し、以後の生育を観察した。

土壌表面の硬度(表-2:山中式土壌硬度計による計測)は、実験当初、締固めを加えない区で4~10mmに対して、締固め区で11~18mmと締固めの有無による差が目立った。しかし1~2か月もすると添加量による差が認められ、添加量0kg/m³では7mm前後に対して添加量150kg/m³では20mm前後となった。土壌表層から下層にかけてのコーン指数(表-3:コーンペネトロメーターによる計測)は、締固めの有無による差は顕著ではなく、むしろ添加量100、150kg/m³での時間の経過に伴う硬度の増加が特徴であった。締固めを加えない区のみ長谷川式土壌貫入計による計測を行った結果(図-1)、いずれも土壌表層は3~4cm/dropであったが、添加量が増すにしたがって柔らかい土壌層が浅くなっていた。pH値(表-4)は、無添加で約6.5に対して、実験当初の添加量50~150kg/m³では9.8~11.2と添加量の増加に伴う高アルカリ化が認められた。しかし時間の経過に伴って7.5~8程度と中性化の傾向にあった。

表-2 各実験区の実験期間中の土壌硬度
(山中式土壌硬度計による 単位:mm)

	添加量 (kg/m ³)	固化材 添加時	1か月後	2か月後
締固め区	0	11	6	7
	50	13	10	16
	100	16	18	18
	150	18	22	21
締固めを加えない区	0	4	8	6
	50	4	15	7
	100	4	17	9
	150	10	20	18

表-3 各実験区の実験期間中のコーン指数
(コーンペネトロメーターによる 単位:kgf/cm²)

	添加量 (kg/m ³)	固化材 添加時	1か月後	3か月後
締固め区	0	3	2	4
	50	7	10	11
	100	11	19	23
	150	15	21	39
締固めを加えない区	0	1	2	2
	50	3	3	4
	100	3	10	20
	150	8	13	38

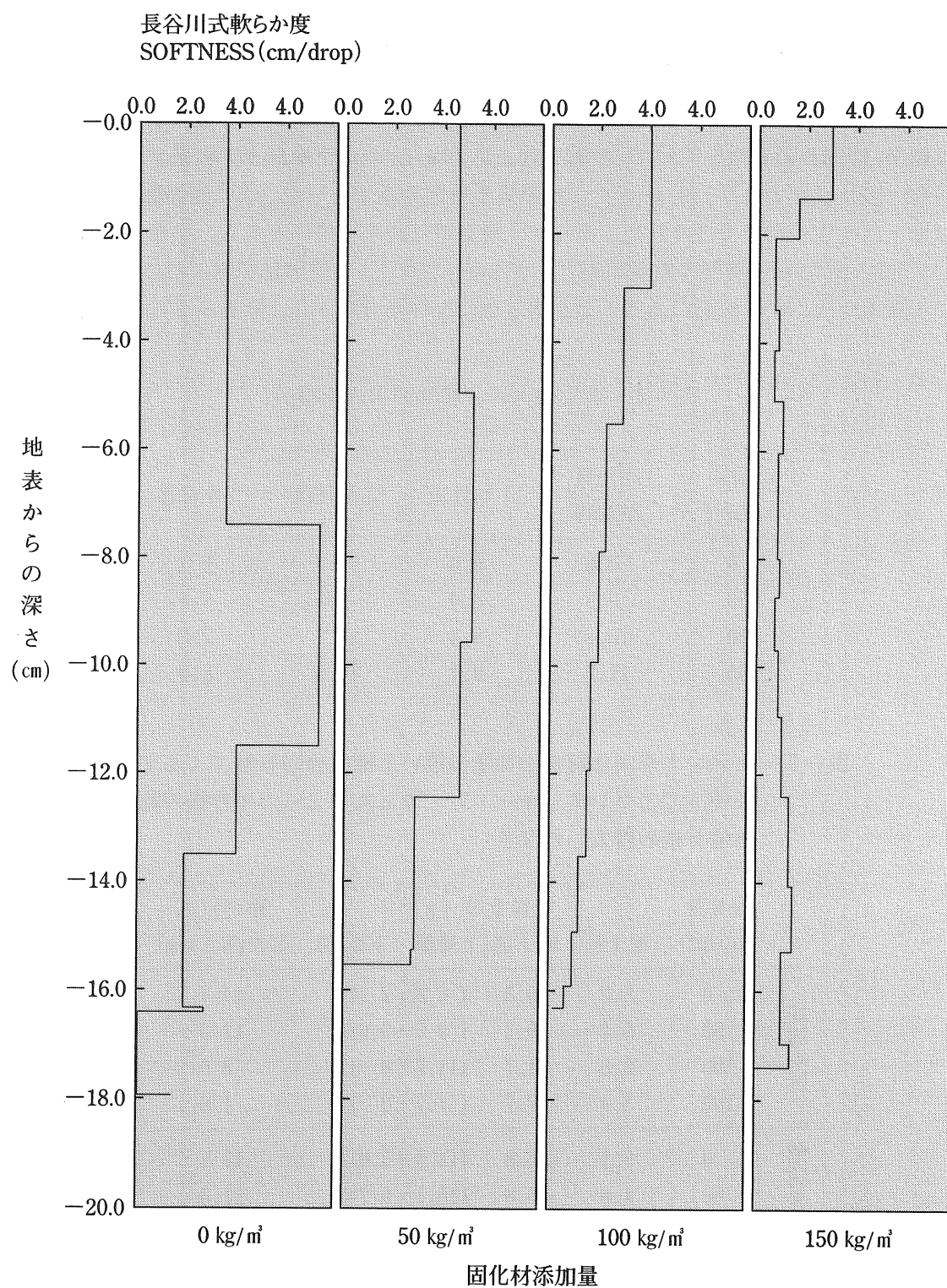


図-1 セメント系固化材の添加量の違いと土壌硬度（締固めを加えない区のみ）

注）測定は長谷川式軟らか度による。

以上のような条件下で行った生育実験の結果、固化材の添加量が多くなるにしたがって、草丈が短くなる傾向にあった（図－２、写真－３）。特に播種から５か月後になると添加量 $50\text{kg}/\text{m}^3$ と $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上の実験区との間で大きな差が見られるようになった（写真－４）。実験終了時（播種から５か月後）の乾燥重量（表－５）は地上部（茎葉部）では固化材の添加量、締固めの有無による差はなかった。地下部（根部）では、全体に締固めを加えない区に比較して締固め区の重量は小さいが、固化材の添加量による差はなかった。そこで層別の重量について検討した結果、締固めの有無を問わず、無添加および $50\text{kg}/\text{m}^3$ のみ下層部まで根系が存在していたのに対し、 $100\text{kg}/\text{m}^3$ および $150\text{kg}/\text{m}^3$ では根系は上層部のみであった。また無添加および $50\text{kg}/\text{m}^3$ では地下部全体の重量はほぼ同様であるが、層別では比率に違いがある。すなわち無添加に比較して $50\text{kg}/\text{m}^3$ では下層部の重量が顕著に少なかった。つまり添加量が増すにしたがって根の侵入する深さが浅くなる傾向にあることが明らかになった（表－５、写真－５）。

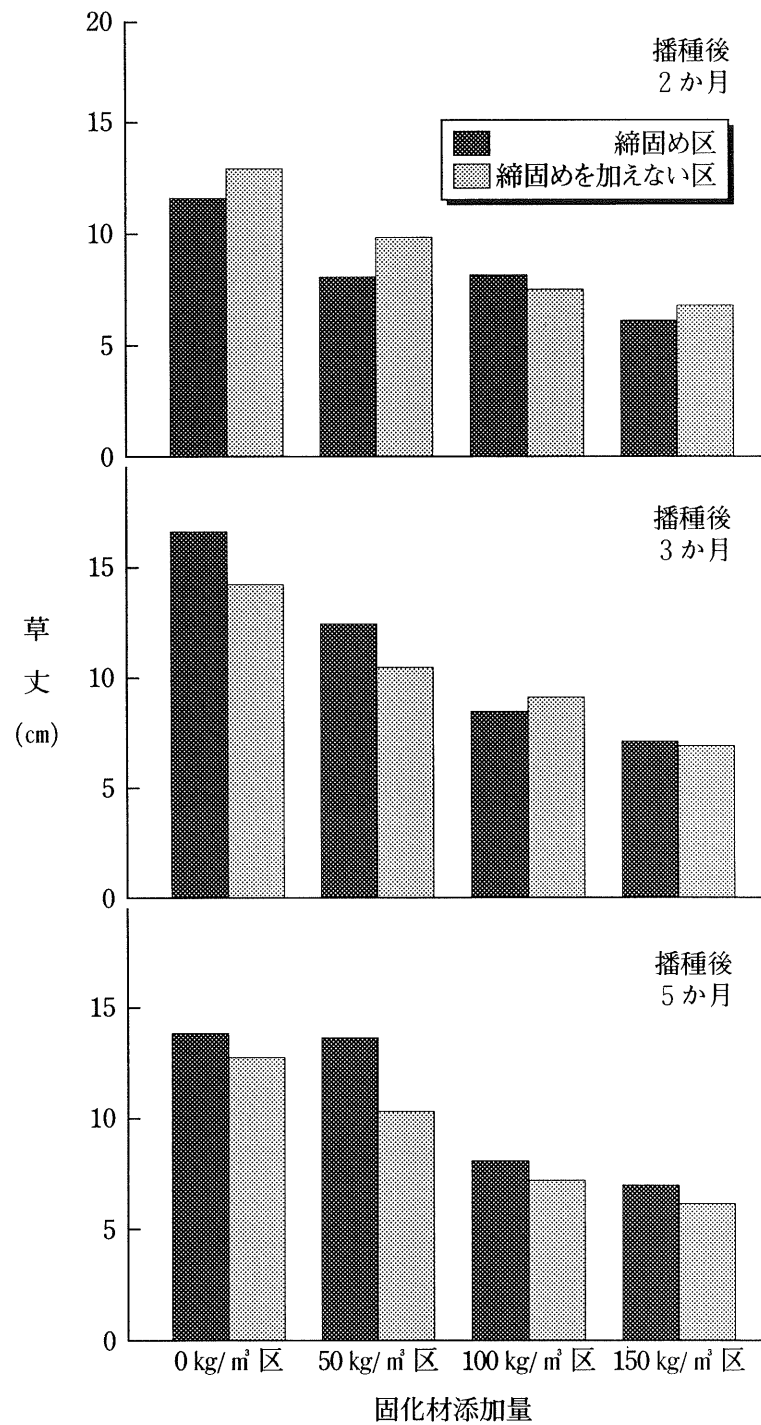
表－４ 各実験区の実験期間中の土壌pH

添加量 (kg/m^3)	固化材 添加時	１か月後	３か月後	５か月後
0	6.6	6.3	6.4	6.7
50	9.8	8.0	9.6	7.5
100	10.8	8.3	10.1	7.8
150	11.2	9.4	10.8	8.0

表－５ セメント系固化材の添加量の違いと締固めの有無による土壌条件下でのケンタッキー・31・フェスキューの生育後の乾燥重量と根の侵入した深さ

	添加量	乾燥重量 (g)			根の侵入
	(kg/m³)	地上部	地下部(上層部・下層部)		した深さ(cm)
締固め区	0	5.0	9.3	(6.8・2.5)	14.7
	50	5.0	10.2	(9.6・0.6)	11.3
	100	3.8	11.7	(11.7・0)	3.0
	150	3.4	7.7	(7.7・0)	1.8
締固めを加えない区	0	5.4	16.8	(11.8・5.0)	17.7
	50	4.0	15.8	(15.1・0.7)	11.3
	100	3.9	21.5	(21.5・0)	4.8
	150	4.8	10.2	(10.2・0)	2.4

注) 実験方法は、図-2の注のとおり。乾燥重量の計測は掘上げ時点(播種5か月後)に行った。根の伸長が地下のどの部位にまで存在しているかを明らかにするために、土壌表面から8 cmの部位(地上部の半分という目安)で上層部と下層部の2層に分けて地下部の重量を計測した。掘上げ時、根鉢の断面に根の分布が明確に現れたので、土壌表層からの根の侵入した深さの計測も行った。



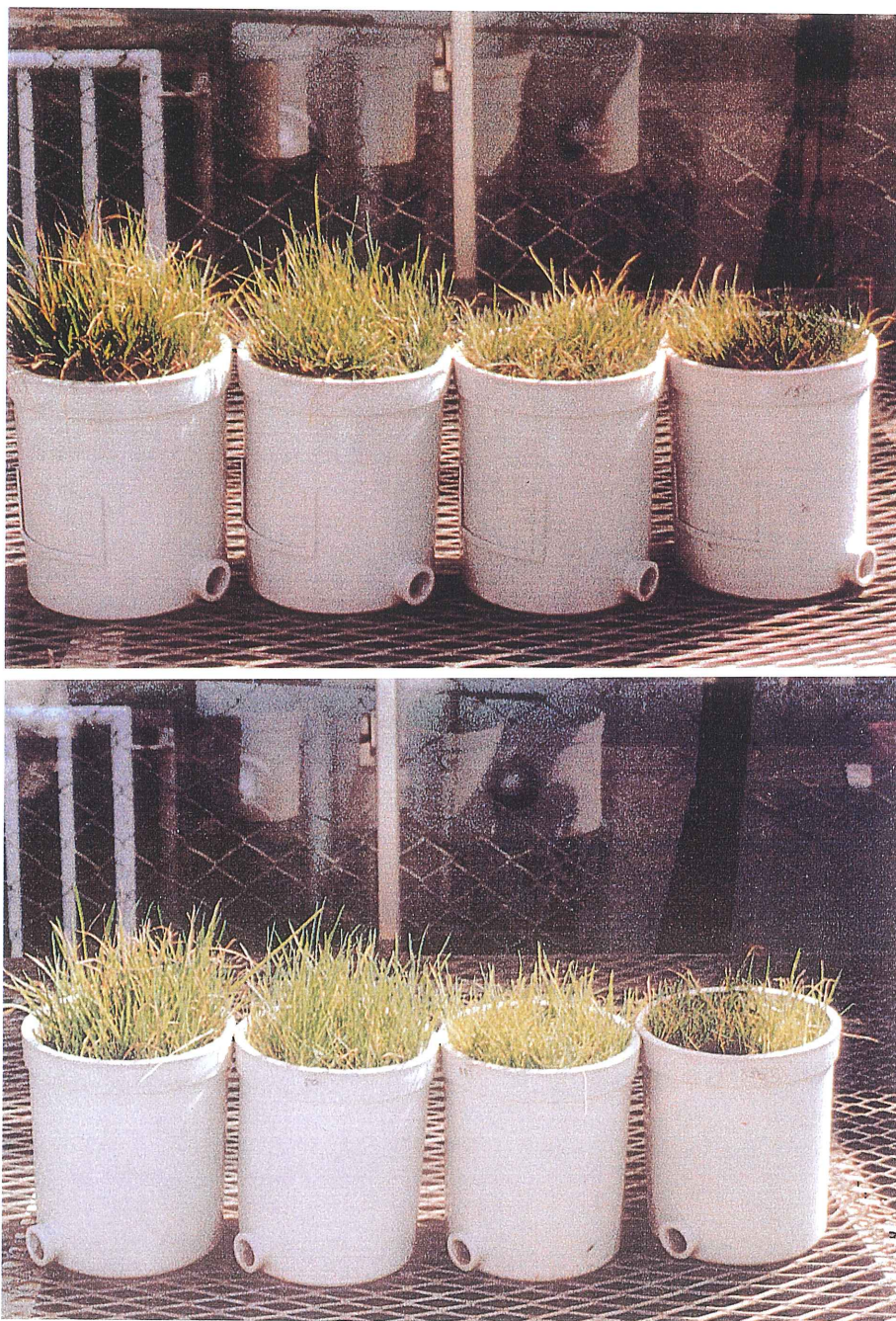
図－2 セメント系固化材の添加量の違いと締固めの有無によるケンタッキー・31・フェスキューの草丈の変化

注) 実験は、東京農業大学構内にあるガラス室内で行った。実験容器には1/5000 aワグネルポットを使用し、黒ぼく土の下層土(5mm目のふるいを通過)にセメント系固化材を0、50、100、150kg/m³に添加する4区を設けた。各実験区3反復で実験を行った。1ポットあたり1000粒を1994年9月20日に播種した。以後、2、3、5か月後に草丈の計測を行った。



写真－３ セメント系固化材の添加量の異なる条件下におけるケンタッキー・31・フェスキューの播種から90日後の生育状態

注) 上段：締固めを加えない区、下段：締固め区、右から 0、50、100、150kg/m³区



写真－４ セメント系固化材の添加量の異なる条件下におけるケンタッキー・31・フェスキューの播種から130日後の生育状態

注) 上段：締固めを加えない区、下段：締固め区、左から 0、50、100、150kg/m³区



写真－5 セメント系固化材の添加量の異なる条件下におけるケンタッキー・31・フェスキューの播種から170日後の掘上げ後の状態

注) 上段：締固めを加えない区、下段：締固め区、左から 0、50、100、150kg/m³区

3) まとめ

以上より、セメント系固化材の添加された土壌においても、数種の緑化用植物の発芽が可能であることが明らかとなった。但し、 150kg/m^3 以上では、発芽が抑制されたり、一度発芽したものが枯れ込む現象などが現れた。初期の生育については、固化材の添加量が増すにしたがって草丈や根の伸長抑制が顕著であったものの、瀕死の状態ではなかった。特に添加量 100 、 150kg/m^3 などコーン指数 20kgf/cm^2 となるような締固め状態では、根は表層のみに分布しており、それに伴って茎葉部が矮小化していたと考えられる。すなわち固化材の添加量によって、根の発達に影響が認められるものの、地上部（茎葉部）は根部に対応した生育を示し、初期生育の範囲では、緑化は十分可能であることが示唆された。

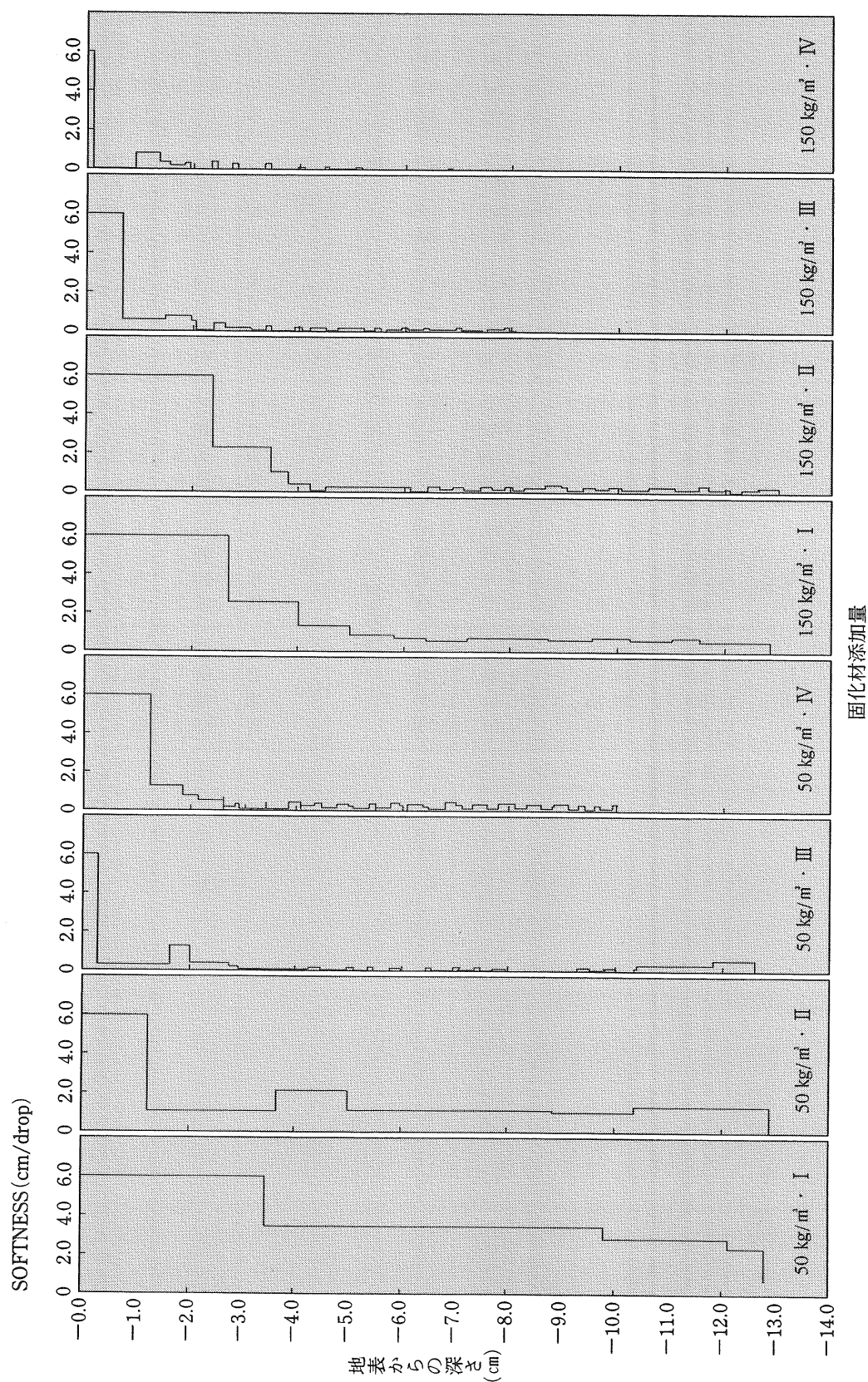
2. 播種方法の差異(直播と泥吹き)による発芽・生育について

前章において、固化材が添加された土壌においても、数種の緑化用植物の発芽と初期生育が可能であることが明らかとなった。しかし発芽の直前直後の種子をとりまく土壌環境の違いもまた発芽・生育に重大な影響を及ぼすといえる。すなわちセメント系固化材を用いた土壌では、転圧による締固めがなされた上にアルカリ化といった問題があるが、現場における土木的な締固めや表面処理は、通常の植物の栽培環境とは全く異なる規模のものであり、そこに直に播かれた種子は、発芽、生育共に非常に困難な条件下におかれることが想定される。そのような発芽の助長策として、あらかじめ膨軟な土壌に種子を混ぜ込み、それを吹き付けるといった方法が考えられる。

ここでは、単にセメント系固化材の添加量の違いということではなく、CBR試験用モールドを用いて異なる締固め条件下で、播種方法の違い、すなわち直播きと泥吹き(1 cm)による、発芽生育の違いについて検討した。

供試植物はケンタッキー・31・フェスキューとした。実験容器にはCBR試験用モールドを使用し、黒ぼく土の下層土(5 mm目のふるいを通過)にセメント系固化材を50、150kg/m³区を設け、さらに締固めの度合を4段階に設定した。すなわち、I：手詰め(振動を20回与えた後、拳で10回軽く押さえつける)3層、II：手詰め(振動を20回与えた後、拳で30回軽く押さえつける)3層、III：2.5kgランマーにて3層15回/層の突固め、IV：2.5kgランマーにて3層25回/層の突固めである。その結果、長谷川式土壌貫入計による計測を行った結果(図-3)、固化材の添加量50kg/m³の手詰めによる処理(I、II)ではポット内すべて(約13cmの深さ)1.5cm/drop以上であったのに対し、ランマー処理(III、IV)を行った区では、1cm/drop以下の極めて固い層が表層から数mm～2 cm以内に達しており、柔らかい土壌層が極めて浅くなっていた。その他の土壌物理特性(湿潤密度、透水係数、CBR、コーン指数、含水比)は表-6に示した。特に締固め度合II、III、IVでは透水係数が10⁻⁵(cm/s)以下となっており、植栽基盤として厳しい条件下であることを窺わせている。

まず直播きによる実験を行い、次いで泥吹きによる実験を行った。発芽生育状態を以下に詳述する(写真-6)。

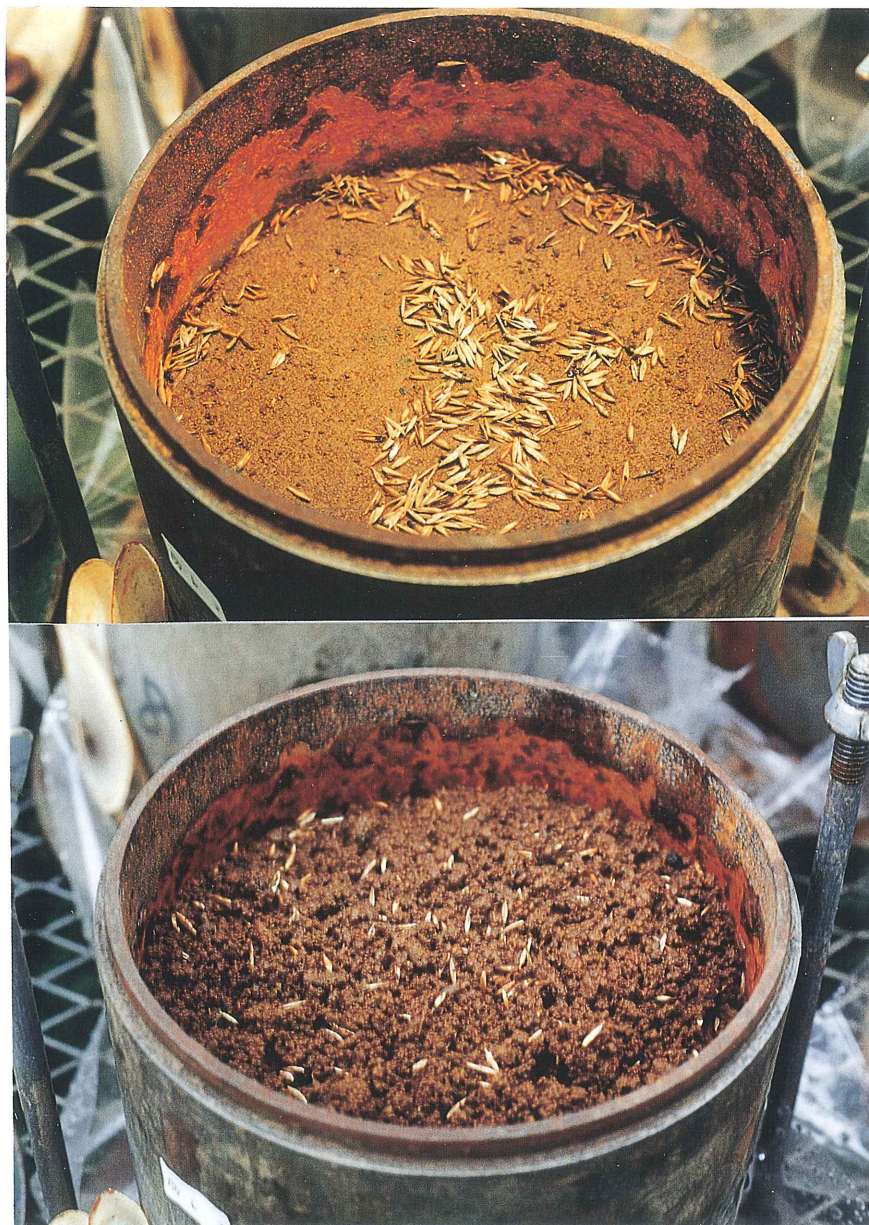


図－3 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる土壌条件下における土壌硬度（長谷川式軟らか度）

注）実験容器にはCBR試験用モールドを使用し、黒ぼく土の下層土（5mm目のふるいを通過）にセメント系固化材を50、150kg/m³添加する区を設けた。さらに添加量の違いに対し、4通りの締固め度合を設定した。すなわちⅠ：手詰め（振動を20回与えた後、拳で10回軽く押さえつける）3層、Ⅱ：手詰め（振動を20回与えた後、拳で30回軽く押さえつける）3層、Ⅲ：2.5kgランマーにて3層15回／層の突固め、Ⅳ：2.5kgランマーにて3層25回／層の突固め

表－6 セメント系固化材の添加量と締固め度合の違いによる土壌物理特性

項目	固化材 添加量 kg/m ³	締固め の程度	材 齢				項目	固化材 添加量 kg/m ³	締固め の程度	材 齢			
			1 W	1 M	3 M	6 M				1 W	1 M	3 M	6 M
湿潤密度 (g/cm ³)	50	I	1.109	1.110	1.110	1.138	コーン 指数 (kgf/cm ²)	50	I	6.85	7.29	8.61	9.44
		II	1.233	1.200	1.188	1.191			II	9.84	11.00	11.40	12.40
		III	1.378	1.377	1.354	1.361			III	13.50	14.40	17.10	18.40
		IV	1.419	1.398	1.406	1.395			IV	13.50	14.20	16.00	19.70
	150	I	1.187	1.188	1.173	1.194		150	I	24.00	27.80	30.10	36.00
		II	1.195	1.188	1.205	1.209			II	26.80	31.40	36.00	38.40
		III	1.395	1.400	1.368	1.385			III	不能	51.20	62.60	58.60
		IV	1.452	1.440	1.435	1.460			IV	不能	76.80	63.60	71.90
透水係数 (cm/s)	50	I	6.34×10 ⁻⁴	—	8.53×10 ⁻⁴	—	土壌硬 度計 (mm)	50	I	19.8	22.8	20.3	25.0
		II	6.92×10 ⁻⁶	—	8.70×10 ⁻⁶	—			II	21.8	24.8	22.2	26.0
		III	7.54×10 ⁻⁶	—	8.47×10 ⁻⁶	—			III	24.8	25.7	26.8	27.6
		IV	4.42×10 ⁻⁹	—	6.63×10 ⁻⁹	—			IV	25.1	25.0	26.8	27.0
	150	I	1.05×10 ⁻⁴	4.43×10 ⁻⁴	6.31×10 ⁻⁴	—		150	I	25.8	31.9	30.7	33.8
		II	1.89×10 ⁻⁵	1.24×10 ⁻⁴	1.11×10 ⁻⁵	—			II	26.8	30.7	29.0	33.6
		III	2.31×10 ⁻⁸	3.14×10 ⁻⁸	8.27×10 ⁻⁵	—			III	30.9	32.4	32.2	33.8
		IV	1.96×10 ⁻⁷	9.83×10 ⁻⁹	1.62×10 ⁻⁷	—			IV	31.5	33.1	32.8	33.8
C B R (%)	50	I	2.03	2.16	2.52	2.69	含水比 (%)	50	I	97.3	97.8	93.5	91.9
		II	3.65	4.17	3.38	3.85			II	98.2	97.7	94.4	91.0
		III	4.58	5.61	5.94	7.57			III	99.7	96.9	93.4	90.9
		IV	3.90	5.02	6.23	6.87			IV	97.2	97.6	93.5	90.0
	150	I	7.00	10.10	8.84	10.60		150	I	81.4	80.9	79.0	77.8
		II	7.30	10.90	10.40	11.10			II	81.7	82.5	79.1	76.9
		III	17.60	20.10	21.40	25.90			III	89.1	81.1	78.4	76.1
		IV	15.60	18.80	25.10	28.30			IV	83.2	81.6	78.4	75.7



写真－6 CBR試験用モールドにケンタッキー・31・フェスキュー播種を行った様子
注) 上段：直播き、下段：泥吹き（泥吹層1cm厚）

1) 直播きについて

発芽率は、いずれの実験区においても差が認められず、添加量50kg/m³でも発芽率2%前後と極めて低く、添加量150kg/m³区ではほとんど発芽できない状況であった(表-7、写真-7)。本実験でほとんど発芽できなかったのは、締固め強度II、III、IVでは締固まり度合いも強く透水係数も10⁻⁵(cm/s)以下と厳しい条件になっていたこと、締固めのメカニズムや土壌表面処理が一因として考えられる。

表-7 固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下における発芽率の差異(直播き)

固化材の 添加量	締固め の程度	発芽数 (本)	発芽率 (%)
50 kg/m ³	I	14.33	1.4
	II	22.00	2.20
	III	22.00	2.20
	IV	31.67	3.17
150 kg/m ³	I	2.33	0.23
	II	0	0
	III	0	0
	IV	0	0

注) 実験は東京農業大学内のガラス温室で行った。実験は3反復で行いケンタッキー・31・フェスキューの種子を1ポットあたり1000粒を1995年6月5日播種した。発芽数については7月15日に計測を行った。



写真－ 7 CBR試験用モールドに直播きによる播種を行ってから40日後の発芽状態（ケンタッキー・31・フェスキュー）

注）上段：50kg/m³区、下段：150kg/m³区

2) 泥吹きについて

添加量50、150kg/m³区共にいずれの実験区においても1ポット当たり500粒以上の発芽が得られ、発芽数に差はなかったので生育実験に移行した。実験終了時(播種から約140日後)の草丈は、全体的に見て締固めの度合よりも添加量の違いによる影響が見られ、150kg/m³では50kg/m³に比較して矮小化している傾向にある(図-4、写真-8)。固化材の添加量と締固めの違いによって全体的に地上(茎葉部)・地下(根部)共に乾燥重量に大きな差異は認められなかった(図-5)。しかし根域や根長には大きく影響しており固化材の添加量が多いほど、締固めの度が増すにつれて根の伸長が抑えられている(図-6、写真-9~10)。根は固化材の添加量の増加や締固めの度合が大きくなると総量としては大きく影響は受けないが、その伸長が抑えられていることが明らかとなった。

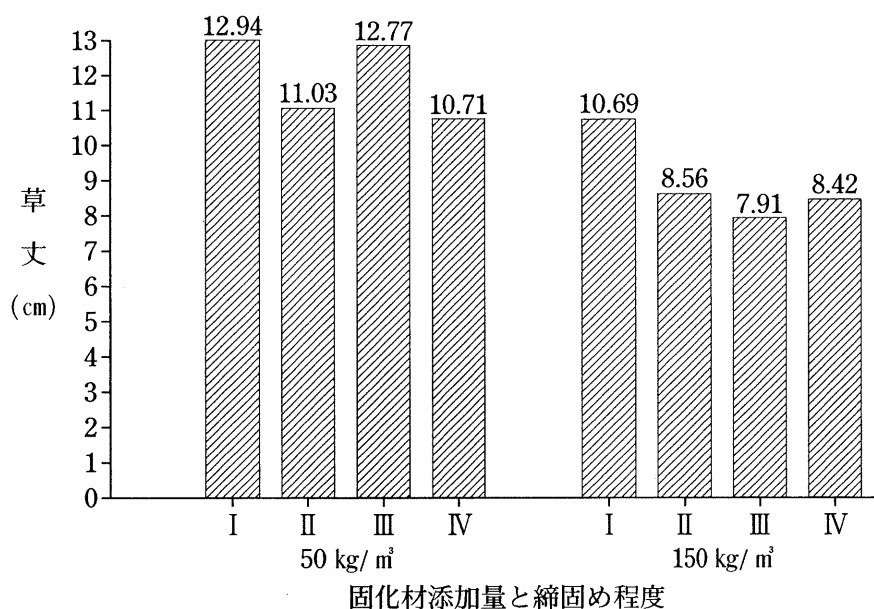
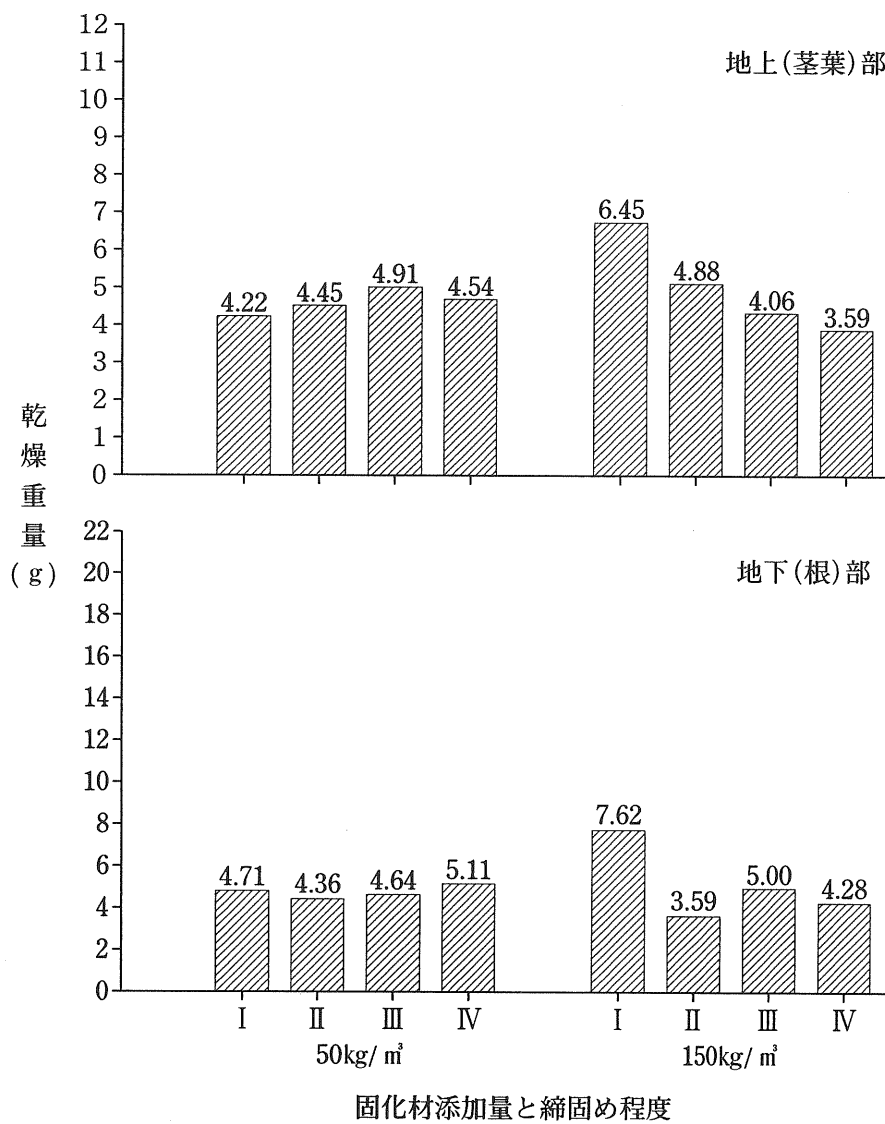


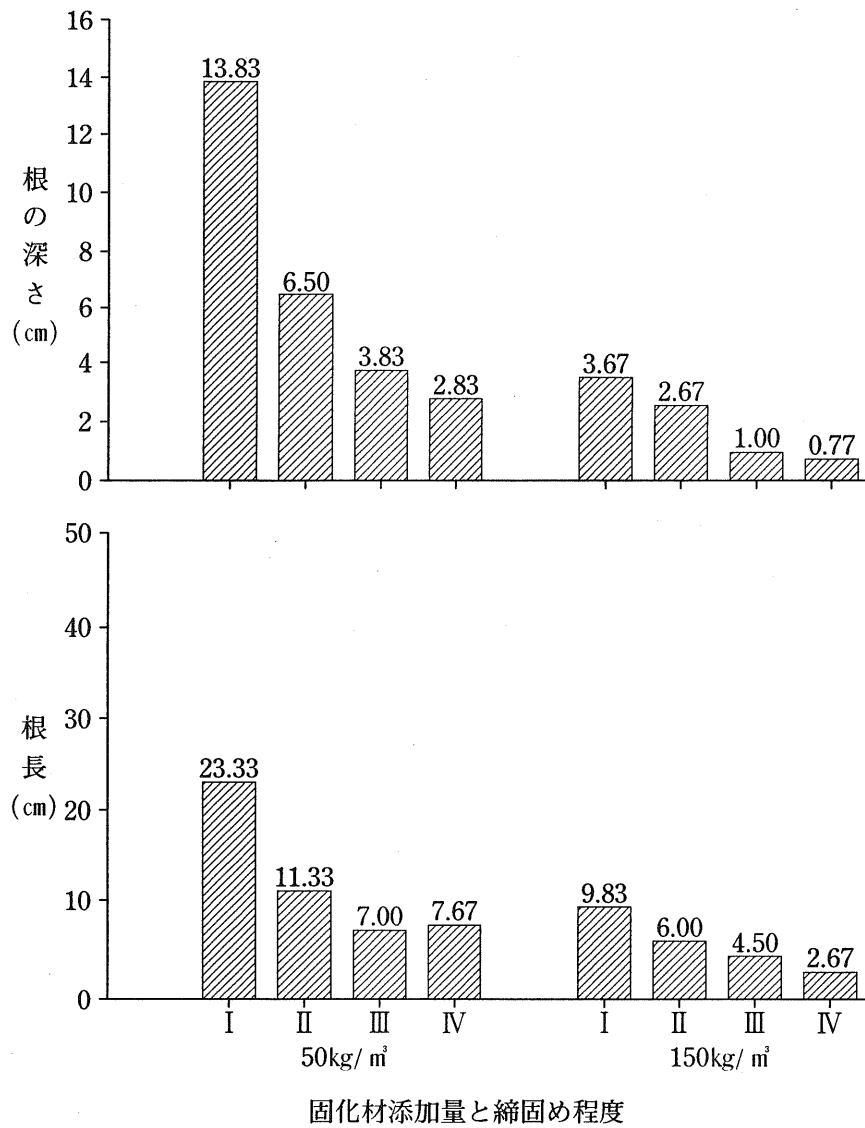
図-4 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる土壌条件下で生育したケンタッキー・31・フェスキューの草丈の差異

注) 締固めの程度 I、II、III、IVは図-3に準ずる。



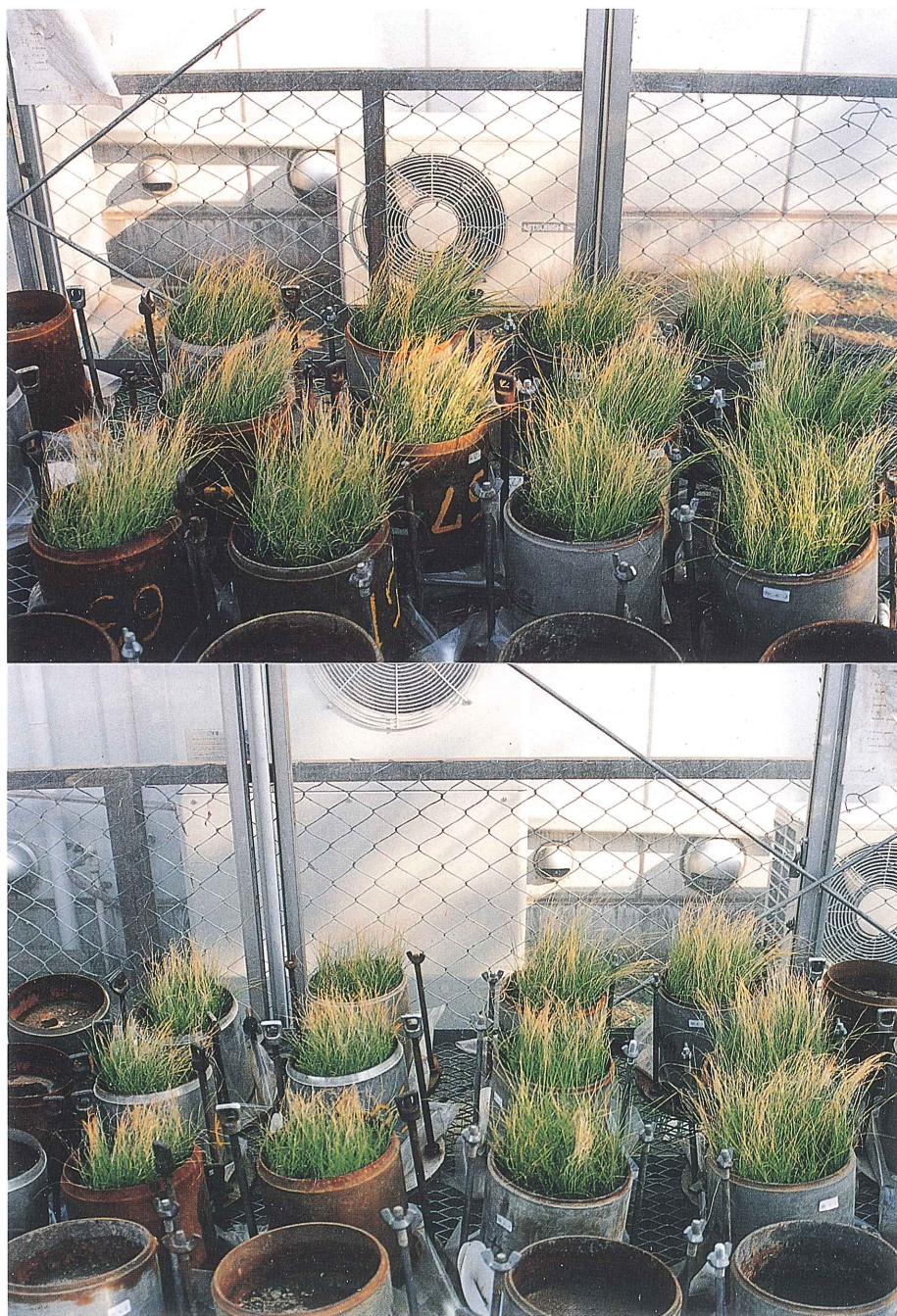
図－5 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる土壌条件下で生育したケンタッキー・31・フェスキューの乾燥重量の差異

注) 締固めの程度 I、II、III、IVは図－3 に準ずる。



図－6 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる土壌条件下で生育したケンタッキー・31・フェスキューの土壌中に侵入した根の深さと根長の差異

注) 締固めの程度 I、II、III、IVは図－3に準ずる。



写真－ 8 CBR試験用モールドに泥吹きによる播種を行ってから140日後の生育状態(ケンタッキー・31・フェスキュー)

注) 上段：50kg/m³区、下段：150kg/m³区



写真－9 CBR試験用モールドに泥吹きによる播種を行ってから140日後の掘上げ後の状態(ケンタッキー・31・フェスキュー)

注) 上段：50kg/m³区、下段：150kg/m³区、左から締固め度合Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ。

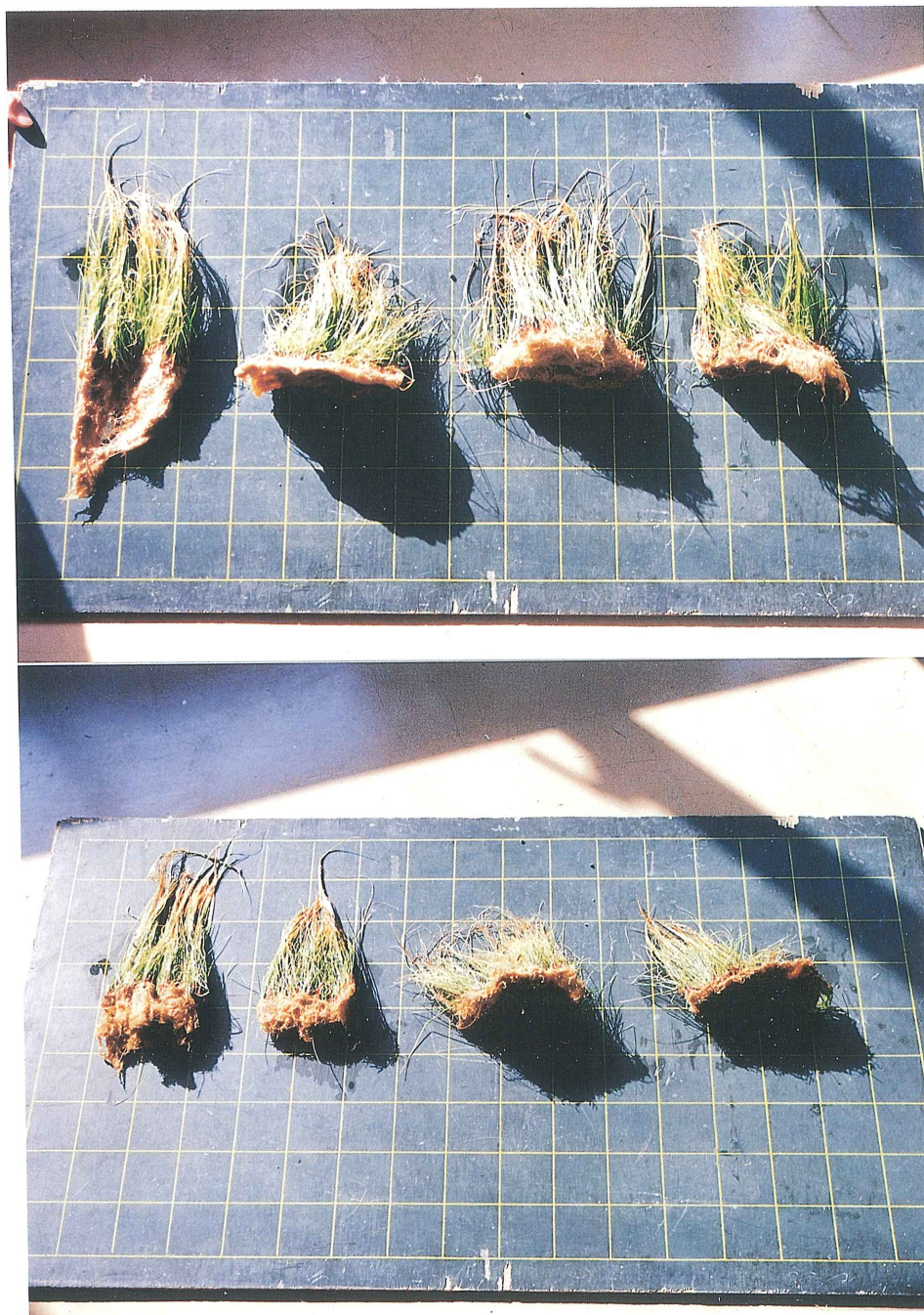


写真-10 CBR試験用モールドに泥吹きによる播種を行ってから140日後の根洗い後の状態(ケンタッキー・31・フェスキュー)

注) 上段：50kg/m³区、下段：150kg/m³区、左から締固め度合Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ。

3) まとめ

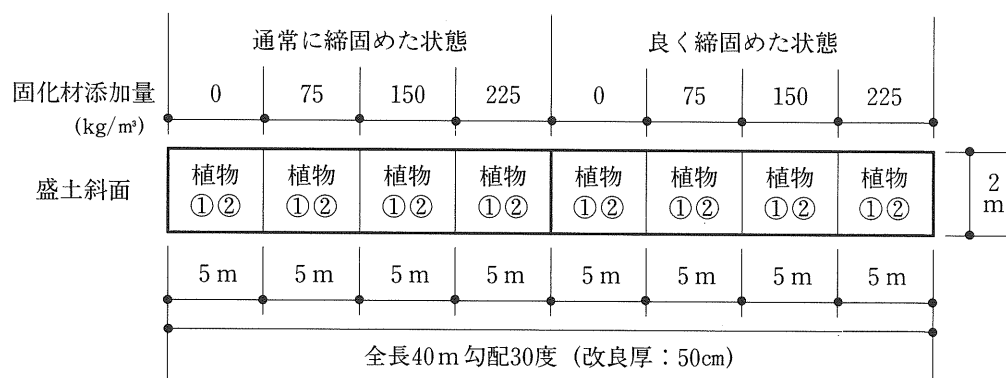
固化材の添加や転圧によって締固まった固化処理土において緑化用植物を直播きした場合、その発芽は非常に困難となる。しかし固化処理土部分が極めて劣悪な条件であっても泥吹きを行うことによって発芽ならびに初期生育が認められた。但し、発芽後の根の伸長は固化処理土部分の影響を受け、25mm以上の土壌硬度や 10^{-5} (cm/s) 以下の透水係数の土壌条件では、根系が泥吹き層から固化処理土表層のみに分布した。

3. セメント系固化材の添加された盛土斜面での発芽、生育について

ポットレベルの予備試験においてセメント系固化材が添加された土壌においても、緑化用植物の発芽と初期生育が可能であることが明らかとなった。とりわけ良く締固められた固化処理土壌面であるほど、泥吹きによる播種を行うことが必須の要件であることがわかった。

以上の成果を踏まえて、現場盛土斜面においてセメント系固化材の添加量と締固め程度の異なる土壌における発芽、生育実験を2種の緑化用植物、トールフェスク・コモン、イタチハギを用いて行った。

実験場所は、千葉県我孫子市新木、新木駅南側土地区画整理事業地内、3号公園用地東側斜面である。斜面長2m、勾配30度(1:1.8)、延長40mの斜面であり、対象土は砂質ロームである。セメント系固化材を0、75、150、225kg/m³に添加する区を設け、さらにそれぞれの添加量に加えて通常に締固めた状態、良く締固めた状態を設定した。改良厚さを50cmとし、通常の締固めについては処理土の敷均し厚を25cm 2層、良く締固めた処理土については敷均し厚を10cm 5層とし、それぞれ法面バケットによる押さえ転圧とした(図-7)。施工は1996年6月13~21日に行い、播種工に先立ち、トールフェスク・コモン、イタチハギの種子の準備を行った。イタチハギのみ水浸による発芽処理を施したものを準備した。



— 改良規模と調査区域・正面図 —

植物: ① トールフェスク・コモン 対象土: 砂質ローム
② イタチハギ

図-7 実験区設定のための改良規模と調査区域

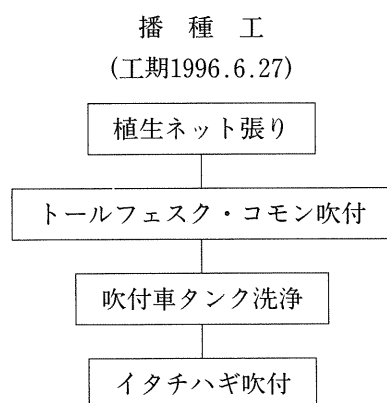


図-8 播種工の作業フロー

播種は、泥吹きで行い植生用樹脂ネット併用とした。種子量については表－8に、両吹付工に共通する植生基材の内訳(100m²)は表－9に示すとおりである。また想定される発芽期待本数は表－10に示した。

施工順序は、植生ネット張り、トールフェスク・コモン吹付、吹付車タンク洗浄、イタチハギ吹付である(図－8)。

以下、施工方法について詳述する。

(1) 植生ネット張り

植生ネット(キノネット3号)を主アンカー(φ9mm)を1本/m²、補助アンカー(φ5mm)を2本/m²程度で固定しながら、斜面に設置していく(写真－11参照)。

(2) トールフェスク・コモン吹付

トールフェスク・コモンの種子、植生基材、水を吹付機のタンク内に投入、攪拌後、平均的に3cm厚になるように吹付ける。この時、隣接した吹付け場所に種子が混合するのを防ぐため、吹付け範囲の両側にコンパネを斜面上部から固定し、コンパネの間を吹付ける(写真－12参照)。

表－8 種子配合量(100m²当り)

種 名	数量	単位	平均 粒数/g	標準 発芽率
トールフェスク・コモン	7.2	kg	400粒	90%
イ タ チ ハ ギ	3.0	kg	40粒	65%

表－9 植生基材配合(100m²当り)

名 称	形状・寸法	数量	単位
肥 料	N:P:K=15:15:15	18.0	kg
客 土	きんつち	1.8	m ³
緑化基盤材	キノソイル	1.8	m ³
養 生 材	本州グリーンファイバー	18.0	kg
侵食防止剤	クリコート C-710	9.0	kg
粘 結 材	クリコート C-501-GP	8.0	kg
団 粒 剤	EDPフロック	0.8	kg
団粒助剤	PAC	1.6	kg

表－10 想定される発芽期待本数と発芽時期

種 名	本数 (本/m ²)	発芽時期 (播種後)
トールフェスク・コモン	18538	1週間程度
イ タ チ ハ ギ	2493	3週間程度

(3) 吹付車タンク洗浄

種子が混合しないよう別途用意する水タンクの水で、タンク内の種子、植生基材がなくなるまで洗浄を行う。

(4) イタチハギ吹付

イタチハギの種子、植生基材、水を吹付機のタンク内に投入、攪拌後、平均的に厚さ3cmになるように吹付ける。この時、隣接した吹付場所に種子が混合するのを防ぐため、吹付け範囲の両側にコンパネを斜面上部から固定し、コンパネの間を吹付ける(写真-13参照)。

播種後の土壌硬度(山中式土壌硬度計による：図-9)の測定においては、種子が位置している泥吹き面でも添加量の影響を受けており、 225kg/m^3 では30mm以上と高い硬度となっている(材齢1か月)。固化処理土部分(材齢3か月)では固化材の添加量の増加に伴って硬度も増しており、無添加の15mm程度に比較して、 225kg/m^3 では30mm以上と高い硬度となっている。pH値は、材齢1か月で固化材の添加量の増加にしたがって $75\sim 225\text{kg/m}^3$ でおよそ10~12と強アルカリを示したが、材齢2か月以降、中性化に向かった(図-10)。なお、現場土質試験一覧を表-11に、室内土質試験一覧を表-12に示す。表-11から当初設定した締固め程度は、施工時の天候の変動等により、結果的には、無添加を除いて、通常に締固めた状態の方が良く締固めた状態に比べ、より締固められるという結果になった。以下に結果を詳述する。

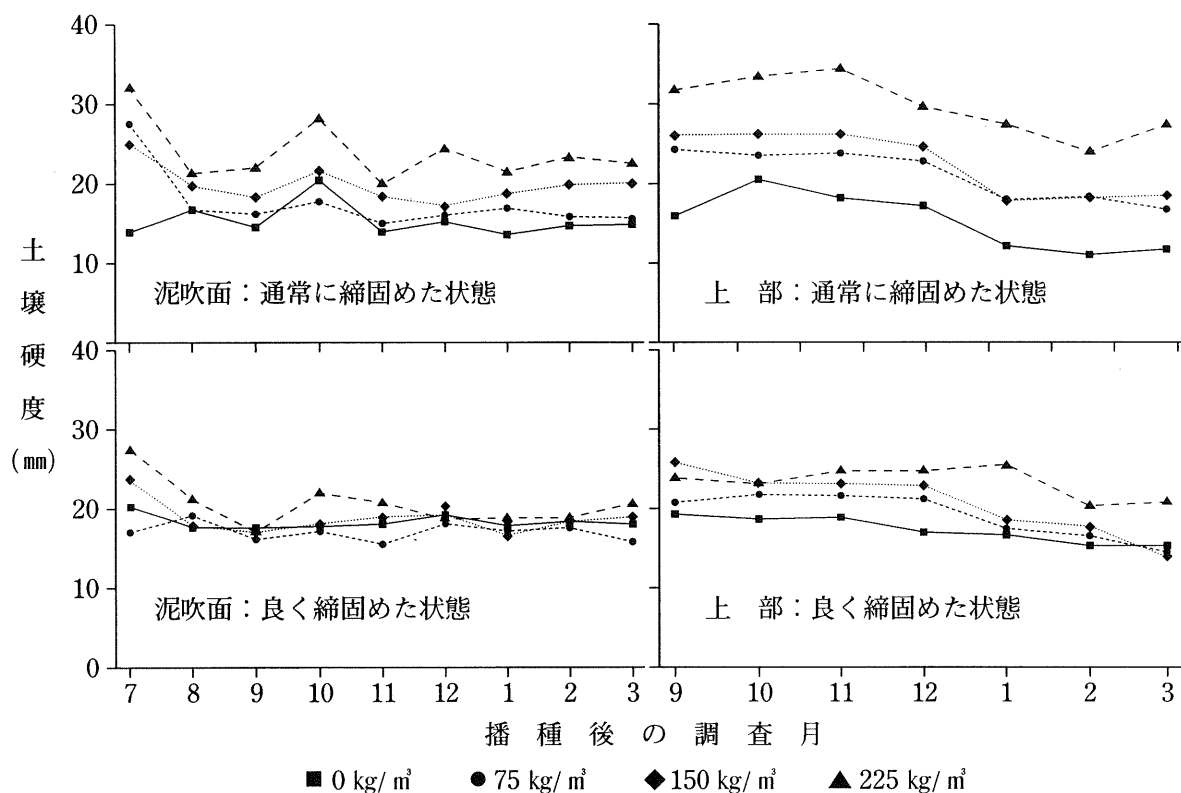


図-9 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる盛土斜面の土壌硬度

注) 通常に締固めた状態：処理土の敷均し厚を25cm 2層とし、法面バケットで表面を押さえ転圧、
良く締固めた状態：処理土の敷均し厚を10cm 5層とし、法面バケットで表面を押さえ転圧。

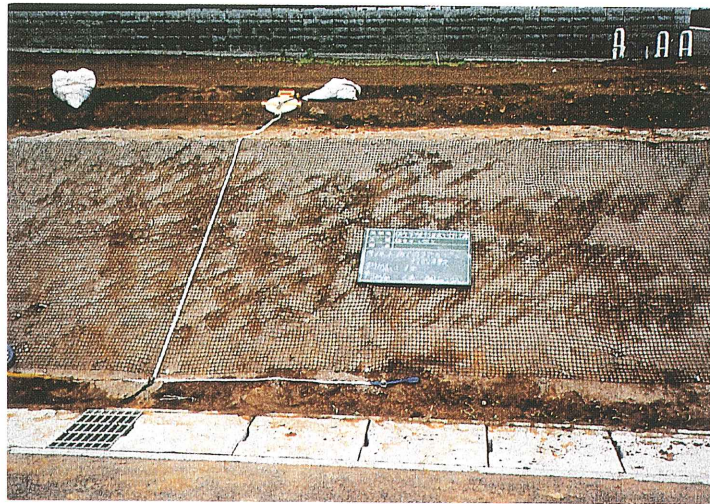


写真-11 植生ネット張り

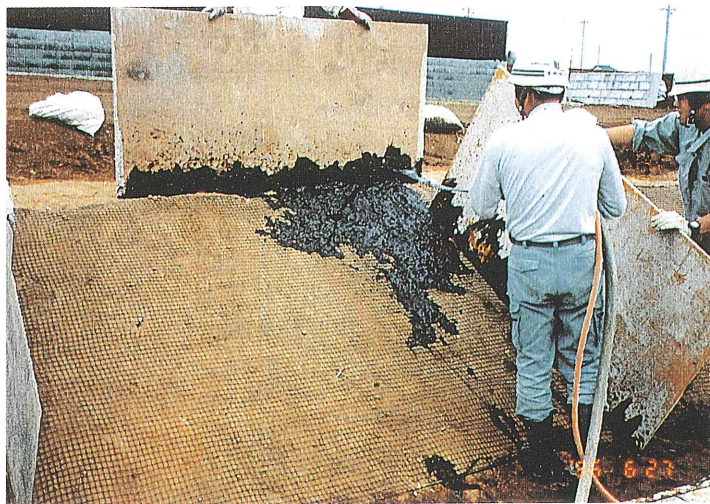


写真-12 トールフェスク・コモン吹付



写真-13 イタチハギ吹付

表-11 現場土質試験結果一覧

項 目	材 齢	通常に締固めた状態				良く締め固めた状態			
添 加 量 (kg/m ³)	-----	0	75	150	225	0	75	150	225
施 工 日		6/17	6/17	6/18	6/18	6/19	6/19	6/19	6/20
含 水 比 (%)		43.6	32.7	34.0	31.2	39.9	33.4	35.8	30.1
湿潤密度A (g/cm ³)		1.215	1.403	1.376	1.449	1.604	1.315	1.359	1.306
湿潤密度B (g/cm ³)		1.177	1.400	1.351	1.397	1.554	-----	1.332	-----
qu (kgf/cm ²)	7 日	0.20	1.48	2.88	4.44	1.16	0.61	1.76	1.57
	28日	-----	1.67	2.96	4.74	-----	0.68	1.78	1.63
pH	7 日	6.11	11.21	11.64	11.89	6.07	11.26	11.62	11.95
	28日	-----	11.13	11.56	11.69	-----	11.19	11.43	11.66
コーン指数 (kgf/cm ²)	7 日	15.5	20<	20<	20<	20<	20<	20<	20<
	28日	8.8	20<	20<	20<	14.2	20<	20<	20<
土壌硬度 (mm)	施工日	15*	21*	26*	23*	22	22	18	22
	7 日	17	24	29	33	25	26	27	29
	28日	19	26	29	36	21	19	26	33
透水係数 (cm/sec)	7 日	7.92×10^{-5}	-----	4.78×10^{-4}	-----	4.88×10^{-5}	-----	6.83×10^{-5}	-----
	28日	-----	5.21×10^{-4}	6.25×10^{-4}	5.16×10^{-5}	-----	-----	1.51×10^{-5}	-----

注1) 湿潤密度Aは、コアカッター法によるものでBは、透水試験サンプリングによるもの。

注2) 土壌硬度欄の施工日の*印は'96 6/19に測定したものである。

植生試験試料土質試験結果

土粒子の密度：2.706g/cm³

液 性 限 界：52.6%

塑 性 限 界：34.5%

粒 度：砂れき分 1%、砂分 52%、シルト分 27%、粘土分 20%

土 質 分 類：火山灰質砂 (SV)

表-12 室内土質試験結果一覧（通常に締固めた状態）

分類	項 目	材 齢	固化材添加量			
			0 kg/m ³	75kg/m ³	150kg/m ³	225kg/m ³
C B R 試 験	含 水 比 (%)	7 日	26.5	24.6	23.7	21.1
		28日	25.6	24.1	23.5	20.9
	湿 潤 密 度 (g/cm ³)	7 日	1.176	1.398	1.350	1.396
		28日	1.169	1.394	1.346	1.392
	乾 燥 密 度 (g/cm ³)	7 日	0.929	1.123	1.091	1.152
		28日	0.931	1.123	1.090	1.151
	C B R (%)	7 日	0.72	8.32	18.9	31.1
		28日	0.19	12.2	26.5	47.7
一軸圧縮試験・その他	含 水 比 (%)	7 日	22.6	20.1	19.3	18.4
		28日	22.1	19.8	19.1	18.0
	湿 潤 密 度 (g/cm ³)	成型時	1.192	1.403	1.353	1.401
		7 日	1.204	1.396	1.397	1.397
		28日	1.205	1.401	1.347	1.393
	一軸圧縮強さ (kgf/cm ²)	7 日	測定不能	1.69	1.84	2.63
		28日	測定不能	2.06	1.94	4.19
	コーン指数 (kgf/cm ²)	7 日	1.9	22<	22<	22<
		28日	2.7	22<	22<	22<
	土 壌 硬 度 (mm)	7 日	6.3	29.0	33.7	37.5
		28日	5.8	29.3	26.1	33.1

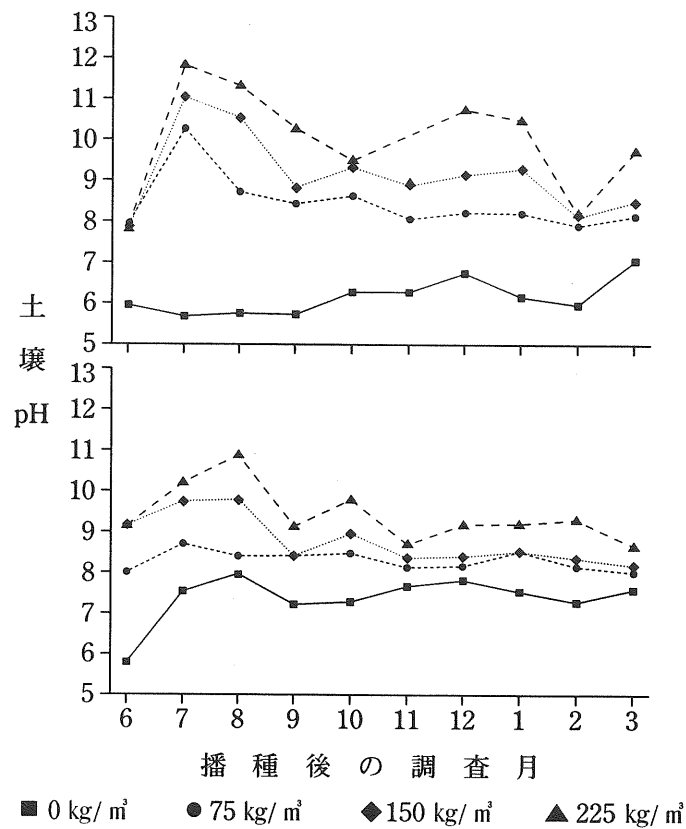


図-10 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる盛土斜面の土壌pH
 注) 上段：通常に締固めた状態、下段：良く締固めた状態。

1) 発芽成立本数について

トールフェスク・コモンについては播種 2 週間で添加量225kg/m³の通常に締固めた状態を除いて、いずれの実験区も600本/900cm²の本数が見られ順調に発芽していた。但し、1 か月後、2 か月後は、いずれの実験区も無添加の区と同様に減少していく傾向にあった。2 か月後になると特に通常に締固めた状態では、無添加に対して75kg/m³では約55%に、150kg/m³では約27%に、225kg/m³では約20%に減少しており、固化材の添加量が多くなるにつれてその成立本数が制限されていた。イタチハギについては、発芽が遅く無添加の区においても播種後 2 週間では11本/900cm²と少ない値であったが、2 か月後では61本/900cm²と増加した。2 か月後の段階において特に通常に締固めた状態では、無添加の区に対して75、150kg/m³では約75%に、225kg/m³では約50%に減少しており、固化材の添加量が多くなるにつれてその成立本数が制限されていた(表-13、写真-14~17)。

表-13 固化材の添加量、締固め程度の異なる盛土斜面における、緑化用植物 2 種の播種後の成立本数の変化 (本数/900cm²)

添加量 (kg/m ³)	通常に締固めた状態				良く締固めた状態			
	0	75	150	225	0	75	150	225
トールフェスクコモン								
2 週間	659.6 (21.4)	648.0 (42.8)	706.6 (46.1)	248.6 (63.4)	557.6 (21.2)	527.3 (30.0)	570.6 (69.7)	533.3 (19.0)
1 ヶ月	129.3 (71.2)	51.3 (19.2)	46.7 (15.3)	44.7 (12.3)	121.0 (27.9)	104.6 (48.8)	96.7 (28.2)	42.3 (7.3)
2 ヶ月	99.3 (24.1)	56.0 (30.4)	27.3 (1.3)	19.7 (8.1)	97.0 (34.0)	63.0 (29.7)	60.3 (51.3)	28.0 (15.7)
イタチハギ								
2 週間	11.0 (6.5)	6.0 (3.6)	7.7 (3.1)	0 (0)	12.0 (3.6)	9.3 (1.2)	5.0 (3.6)	1.3 (1.2)
1 ヶ月	54.0 (6.7)	52.3 (13.0)	46.7 (10.7)	28.7 (8.7)	57.3 (3.9)	64.0 (6.4)	50.7 (2.9)	37.0 (6.4)
2 ヶ月	61.0 (4.5)	45.7 (7.3)	45.3 (7.7)	29.7 (11.1)	59.3 (3.3)	67.0 (4.3)	49.3 (2.4)	33.0 (2.4)

注) 単位: 本/900cm²、括弧内は標準偏差。

実験場所は、千葉県我孫子市新木、新木駅南側土地区画整理事業地内、3号公園用地東側斜面である。斜面長2m、勾配30度(1:1.8)、延長40mの斜面であり、対象土は砂質ロームである。1996年6月13~21日、各条件の固化処理土を用いて、改良厚さ50cmで、締固め程度を法面バケット付きバックホウにより調整した(通常に締固めた状態は処理土の敷均し厚を25cmとし、良く締固めた状態は処理土の敷均し厚を10cmとし、法面バケットで表面を押さえ転圧する)。播種工は同年6月27日に、植生用樹脂ネットを併用して泥吹きで行った。

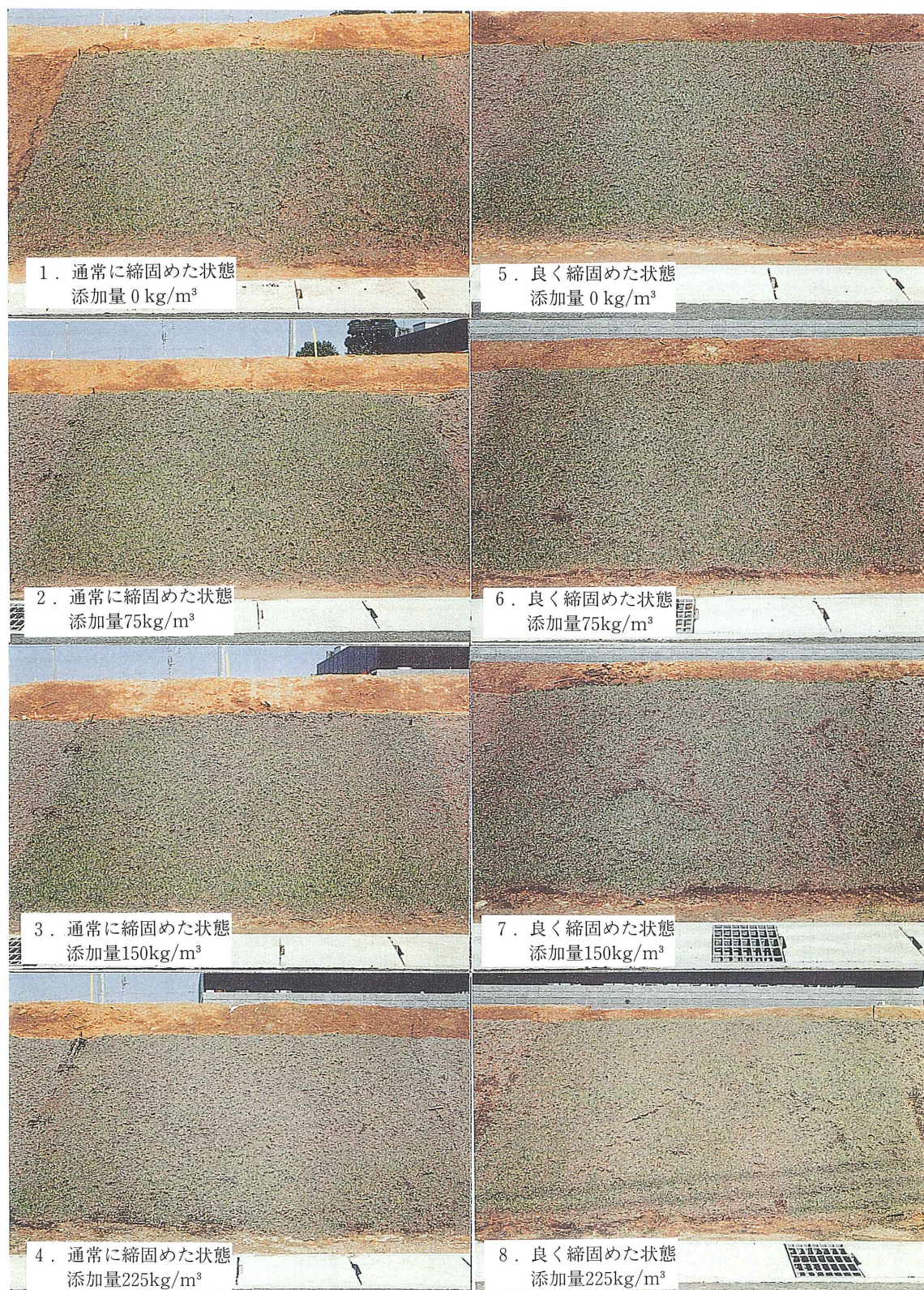


写真-14 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるトールフェスク・コモンの播種 2 週間後の発芽状況

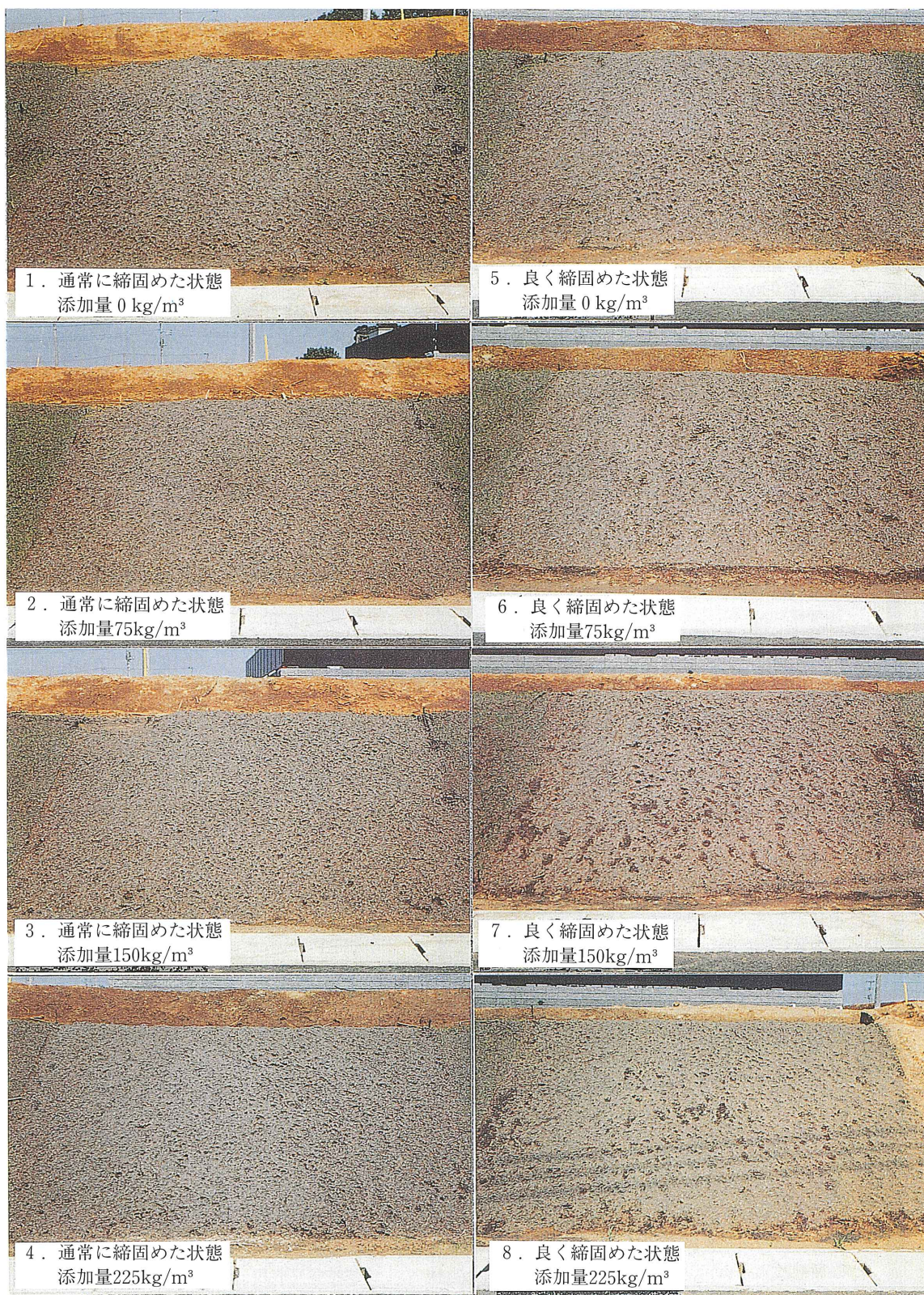


写真-15 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるイタチハギの播種
2週間後の発芽状況

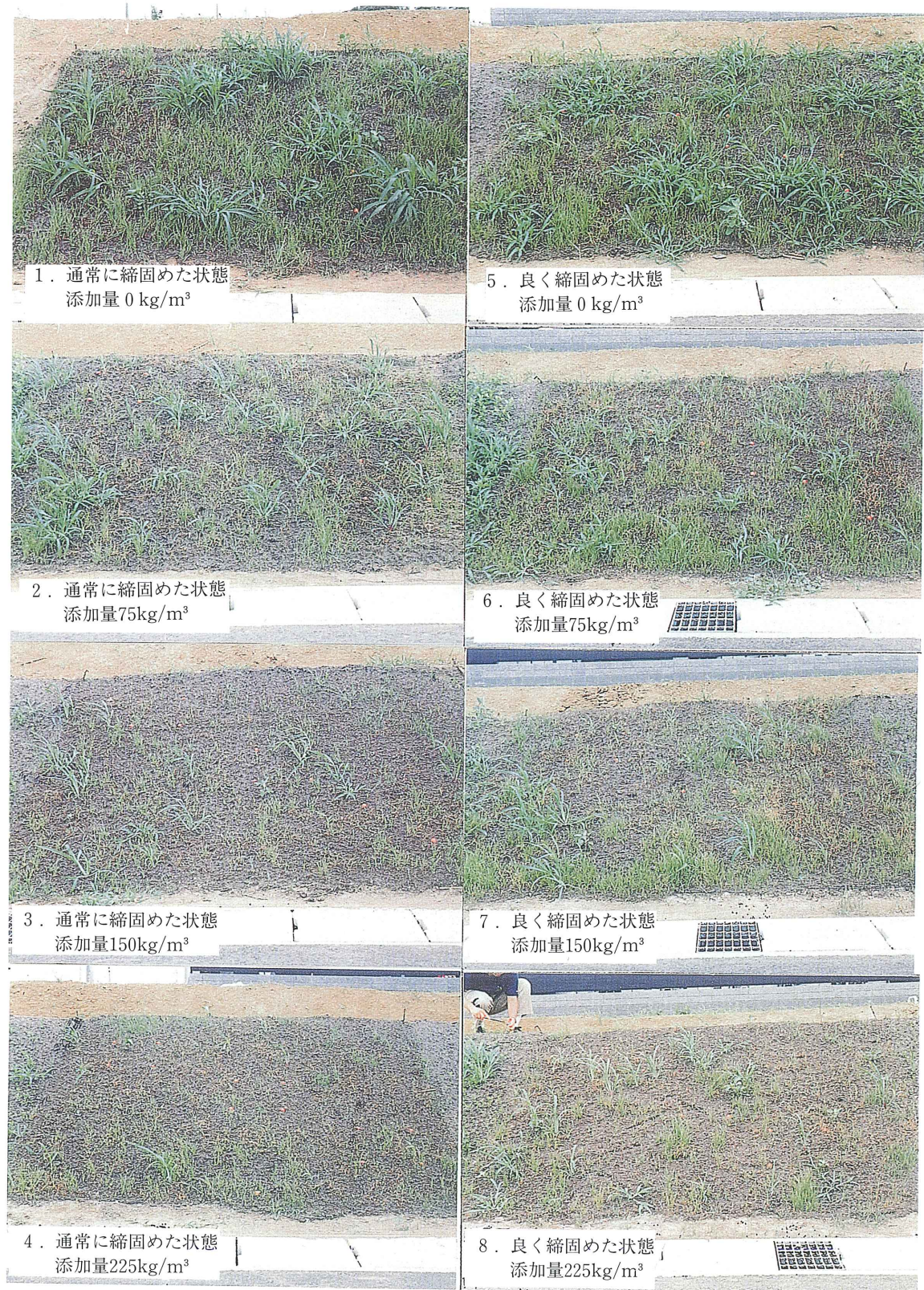


写真-16 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるトールフェスク・コモンの播種1か月後の発芽状況

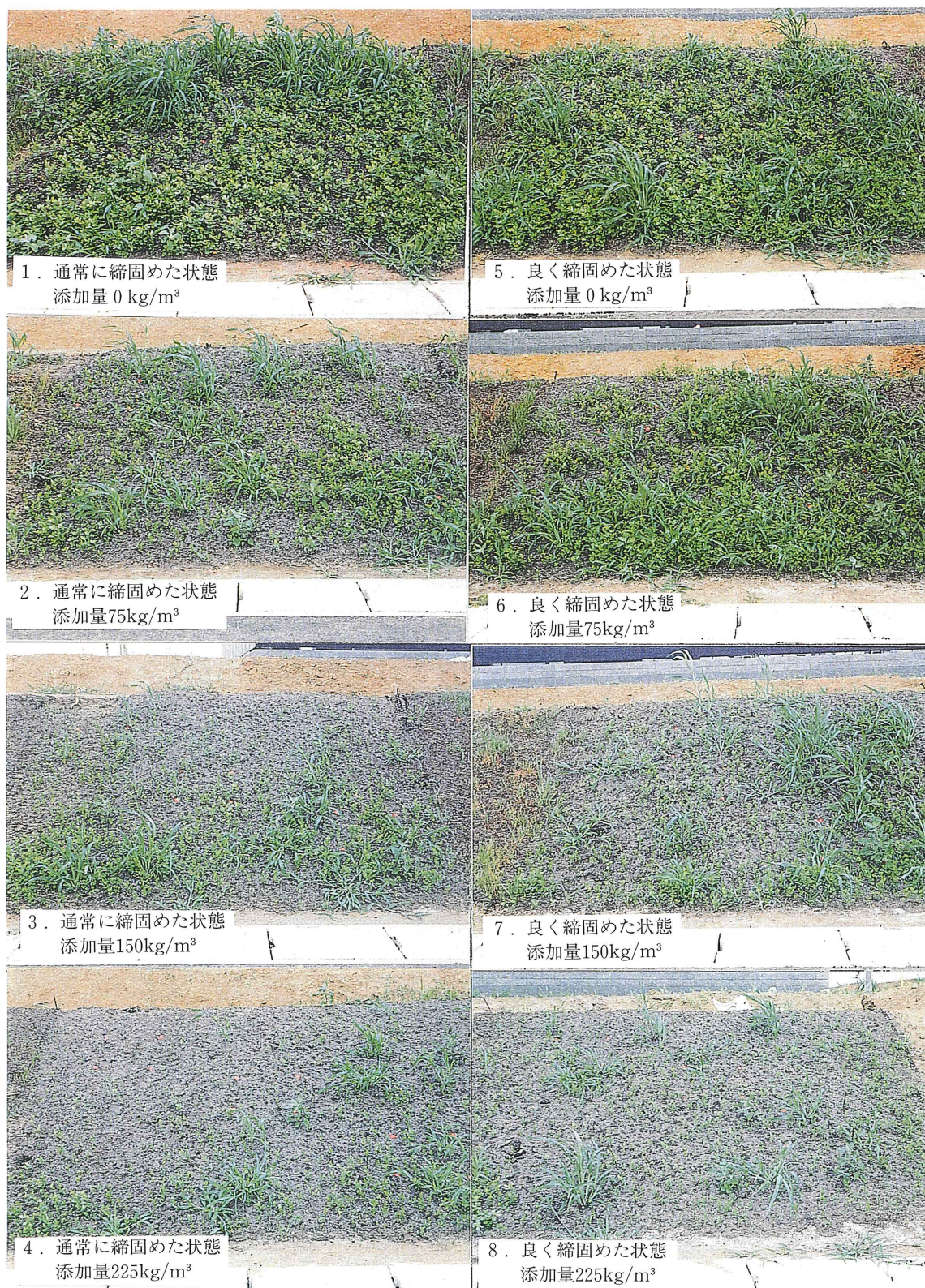


写真-17 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるイタチハギの播種
1 か月後の発芽状況

2) 初期生育について

トルフェスク・コモンでは固化材が添加されることによる播種直接の草丈の伸長速度に差異が見られた。これは添加量や締固め度合によって泥吹面においても当初硬度に差が見られたことから根系の発達に差異が生じたことが原因していると考えられる。また通常に締固めた状態の無添加区では11月頃に伸長が停止するが、固化材が添加された区ではそれよりも1～3か月も前に伸長が停止している(図-11、写真-18)。実験終了時の地上部(茎葉部)の生体重量は、通常に締固めた状態では無添加区に対して75、150、225kg/m³の区では極端に小さい値であった。良く締固めた状態では無添加区を除いて、通常に締固めた状態に比較してむしろ高い値となった。地下部(根部)の生体重量は、通常に締固めた状態の無添加区では地上部に比較して小さな値であった。通常に締固めた状態の75、150、225kg/m³、さらに良く締固めた状態の無添加、75、150、225kg/m³の区では地上部と同様の重量を示した(図-12)。土壌中に根の侵入した深さや根長の調査結果では、75kg/m³添加した土壌は十分根が侵入すること、150kg/m³では僅かに改良土壌表面に侵入すること、225kg/m³では改良土壌中に根が侵入できないことが明らかとなった。しかし、通常に締固めた状態では添加量が増すにしたがって根長が長くなる傾向にあり、水平方向への根の発達が旺盛であったといえる(図-13、写真-19)。

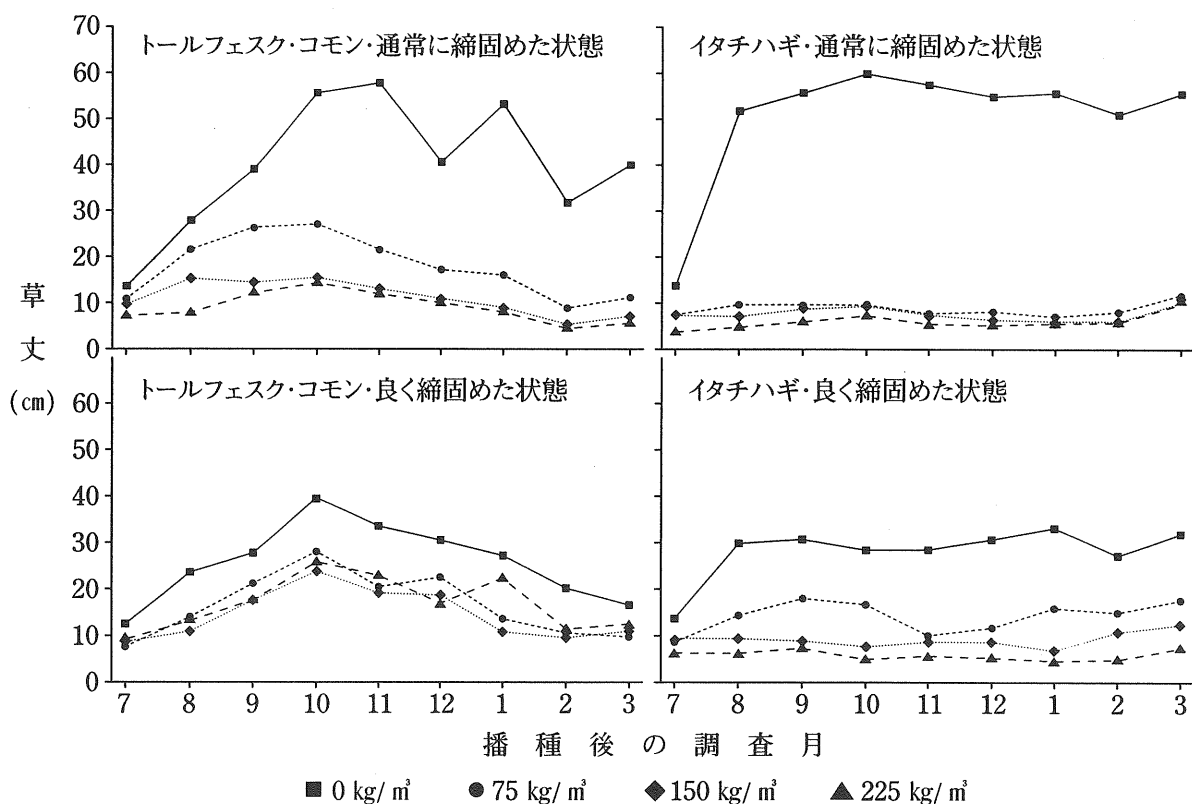


図-11 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる盛土斜面でのトルフェスク・コモン、イタチハギの草丈の変化

注) 通常に締固めた状態、良く締固めた状態の程度は図-9に準ずる。播種は1996年6月27日に泥吹きで行い、植生用樹脂ネット併用とした。種子配合量はトルフェスク・コモンは7.2kg/100m²、イタチハギは3.0kg/100m²である。施工順序は、植生ネット張りの後、植生基材と種子を混合したものを吹き付けた。以後、毎月1回(1997年3月5日まで)草丈の計測を行った。

イタチハギでは、固化材が添加されること、また締固められることによって顕著な草丈の伸長の抑制が認められた。また通常落葉期直前に伸長が停止するが、それよりも2～3か月も前に伸長が停止していた(図-11、写真-20)。実験終了時の地上部(茎葉部)の生体重量は、通常に締固めた状態、良く締固めた状態共に無添加区に対して75、150、225kg/m³と添加量が増すにしたがって小さい値となった。地下部(根部)の生体重量は、通常に締固めた状態、良く締固めた状態共に無添加区に対して75、150、225kg/m³と添加量が増すにしたがって小さい値となったが、いずれも地上部の2倍前後の値を示した(図-12)。

土壤中に根の侵入した深さや根長の調査結果では、イタチハギも同様に75kg/m³に添加した土壌には十分根が侵入すること、150kg/m³では僅かに改良土壌表面に侵入すること、225kg/m³では改良土壌中に根が侵入できないことが明らかとなった。通常に締固めた状態、良く締固めた状態共に無添加区では、土壤中に侵入した根の深さと根長が同じ値であり、直根が垂直方向に伸長したが、75、150、225kg/m³では土壤中に侵入した深さよりも根長が著しく大きく、直根が水平方向に伸長していた(図-13、写真-21)。

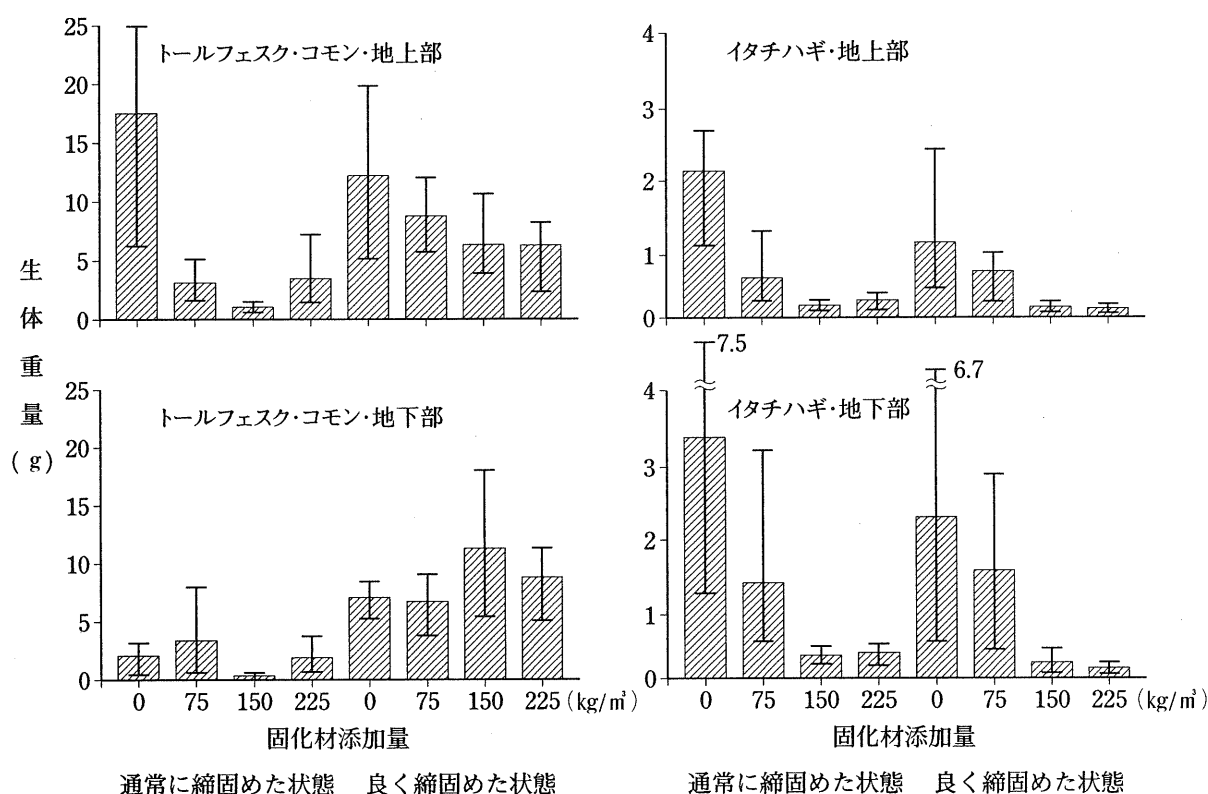


図-12 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる盛土斜面で生育したトールフェスク・コモン、イタチハギの生体重量

注) 上段：地上部、下段：地下部。実験方法は図-11. に準じ、計測は播種9か月後(掘上げ時)の1997年3月6日に行った。縦線の範囲は最大値から最小値を示す。

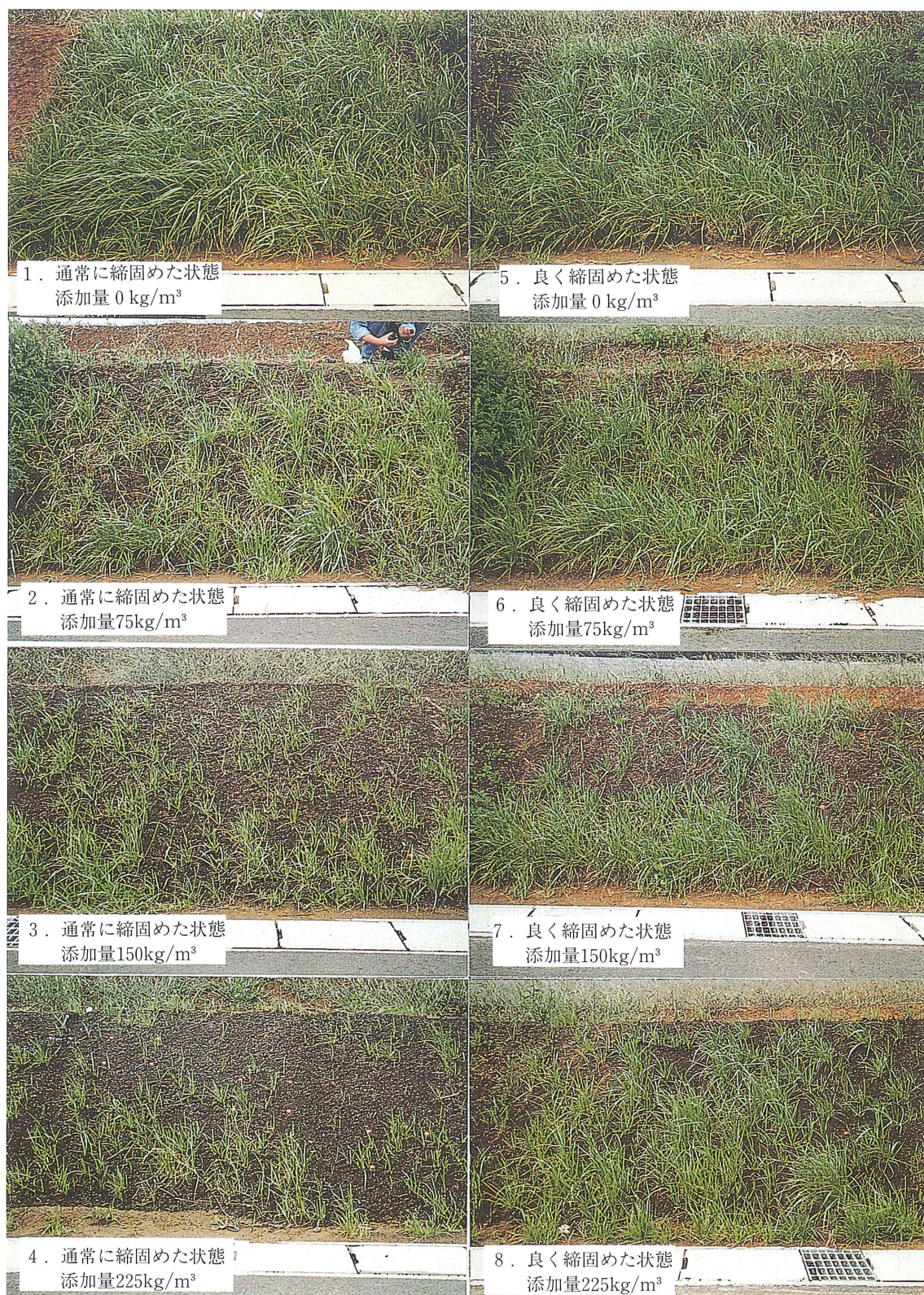


写真-18 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるトールフェスク・
コモンの播種3か月後の発芽状況



写真-19 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるトールフェスク・コモンの掘上げ後の状態

注) 上段は通常に締固めた状態、下段は良く締固めた状態。左から固化材の添加量 0、75、150、225kg/m³区

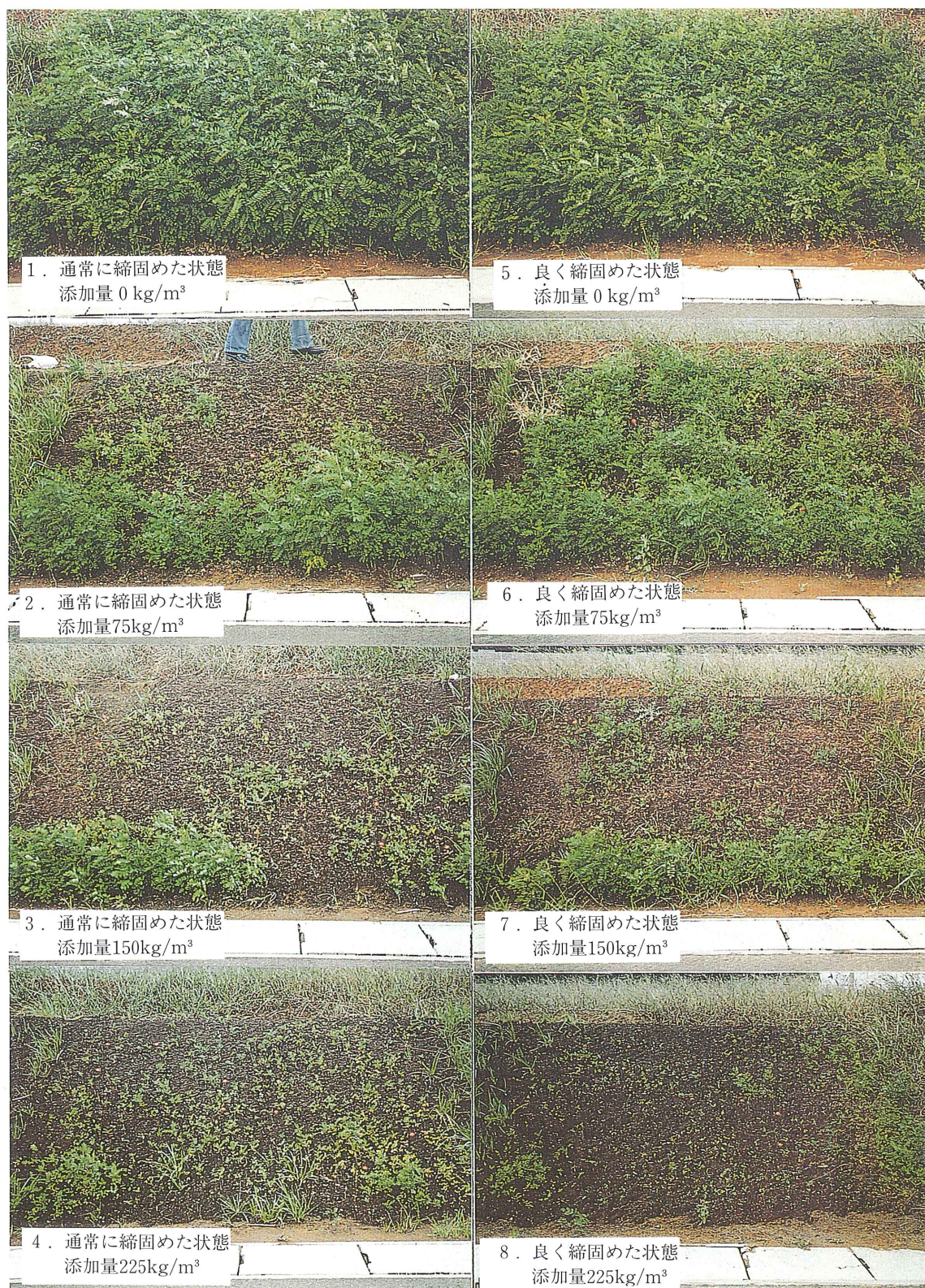


写真-20 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるイタチハギの播種
3 か月後の発芽状況

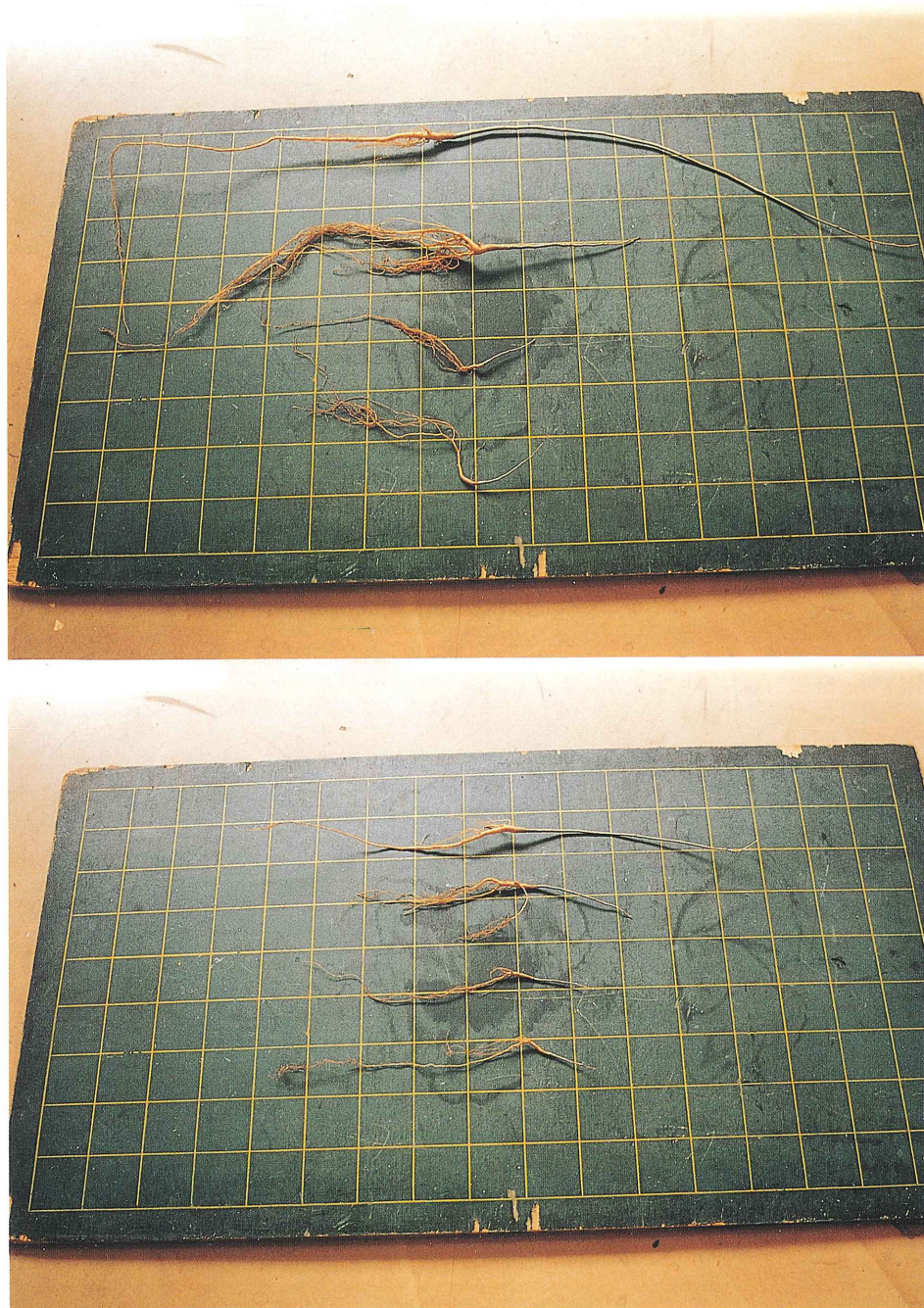


写真-21 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるイタチハギの掘上げ後の状態

注) 上段は通常に締固めた状態、下段は良く締固めた状態。上から固化材の添加量 0、75、150、225kg/m³区

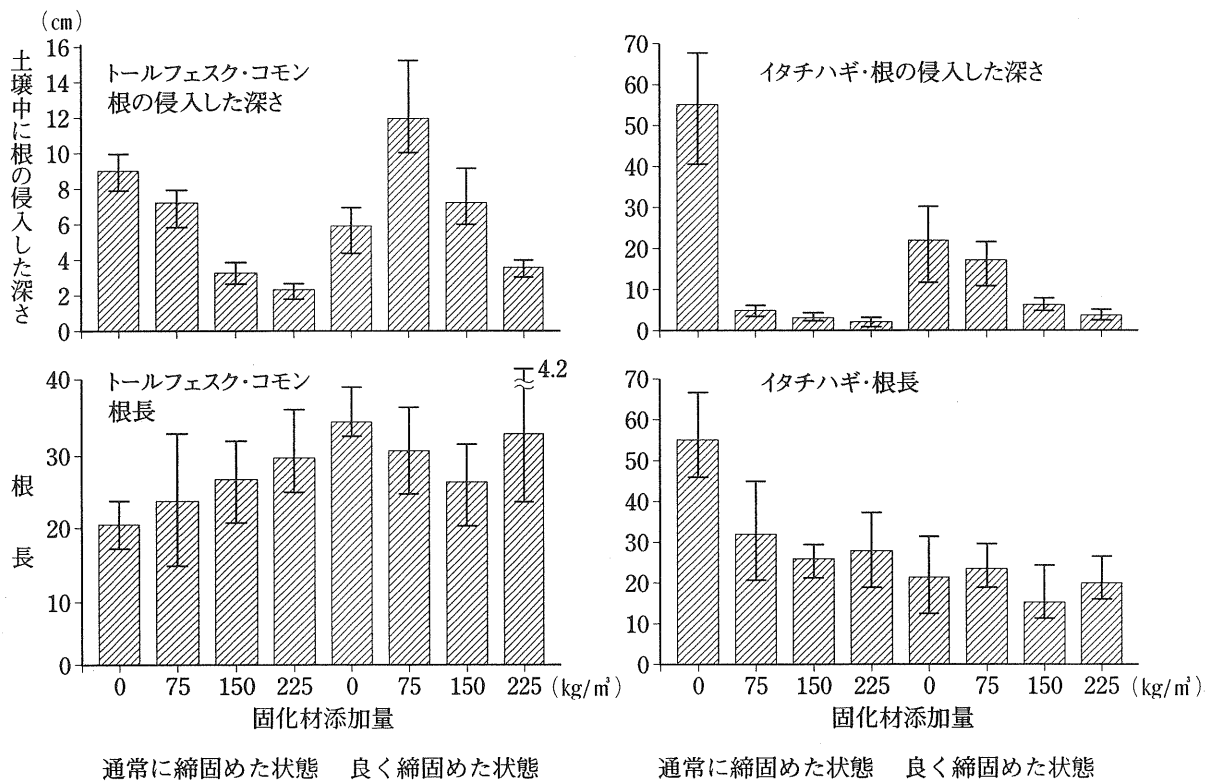


図-13 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる盛土斜面で生育したトルフェスク・コモン、イタチハギの土壤中に侵入した根の深さと根長

注) 上段：根の侵入した深さ、下段：根長。実験方法は図-12. に準じ、計測は播種9か月後（掘上げ時）の1997年3月6日に行った。縦線の範囲は最大値から最小値を示す。

3) まとめ

現場盛土斜面においてセメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる土壌における発芽、生育実験を2種の緑化用植物、トルフェスクコモン、イタチハギを用いて行った。その結果、固化材の添加量が増すにしたがって生育の抑制が認められたが、225kg/m³においても初期の生育は可能であるといえる。但し、改良土壌中への根の発達を期待する場合には、対象土となった砂質ロームの場合、両種共に75kg/m³程度までが限界であると思われる。150kg/m³以上では、十分な根の発達は期待できず、実験期間内では根域は泥吹層のみとなり、極めて抑制された生育状態となった。

4. セメント系固化材が添加された土壌における緑化用植物の生育と施肥の効果について

セメント系固化材の添加された土壌においても、緑化用植物の発芽が可能ではあるものの、 150kg/m^3 以上では、生育が抑制されることが明らかとなった。とりわけ 200kg/m^3 以上では改良土壌内への根の侵入が不可能なほどであり、それに伴って地上部の生育も極度に抑制されており、持続的生育の可能性については明らかではない。そこで生育の助長策としての施肥の効果について検討した。まずポット実験の結果を、次いで盛土斜面において行った実験結果を以下に詳述する。

1) ポット実験について

固化材の添加量 0kg/m^3 、 100kg/m^3 区という条件下に対して、ケンタッキー・31・フェスキューを供試植物として肥料3要素試験を行った結果、固化材の添加量に関わらず、NPの含まれている実験区で草丈の伸長促進効果が認められた(図-14、写真-22)。同様にNPを含む実験区では地上部の乾燥重量は大きな値を示した。地下部乾燥重量では、 0kg/m^3 区ではNPを含む実験区で比較的大きな値を示したが、 100kg/m^3 区では肥料試験区ごとに大きな違いは見られなかった(図-15)。一方、根長は固化材を添加することの影響が大きく現れており、無施肥に対する、各施肥区における根の伸長促進効果は認められなかった(図-16、写真-23~24)。

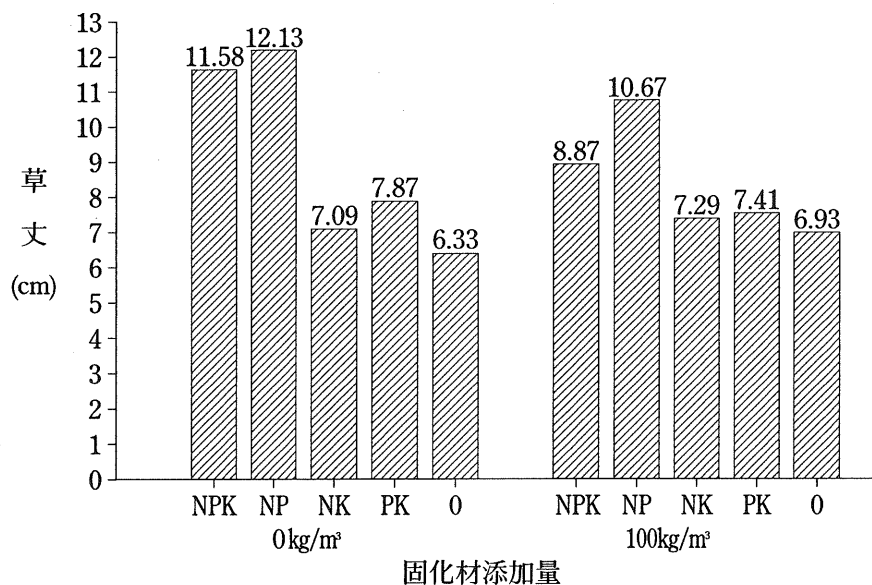


図-14 セメント系固化材の添加量と施肥方法の異なる土壌条件下で生育したケンタッキー・31・フェスキューの草丈の差異

注) 実験は、東京農業大学構内にあるガラス室内で行った。実験容器にはワグネルポットを使用し、黒ぼく土の下層土(5mm目のふるいを通過)にセメント系固化材を 0 、 100kg/m^3 に添加する2区を設けた。さらに肥料3要素試験を行う区を設けた。すなわち無施肥区(O区)、無窒素区(PK区)、無磷酸区(NK区)、無加里区(NP区)、三要素(NPK区)である。使用する肥料はおのおの窒素(硫酸)、磷酸(過磷酸石灰)、加里(硫酸加里)とした。施肥量は 10a 当たり純窒素分で 10kg とし、 $\text{N}:\text{P}:\text{K}$ の配合比が $1:1:1$ になるようにした。 $1/5000\text{a}$ 当たりの使用標準量は $\text{N } 0.96\text{g}$ 、 $\text{P } 1.18\text{g}$ 、 $\text{K } 0.40\text{g}$ であり、1回目の施肥は1995年9月29日、2回目の施肥は12月25日に行った。各実験区3反復で実験を行った。1ポットあたり1000粒を1994年9月20日に播種した。播種から140日後(1996年2月13日)に草丈の計測を行った。

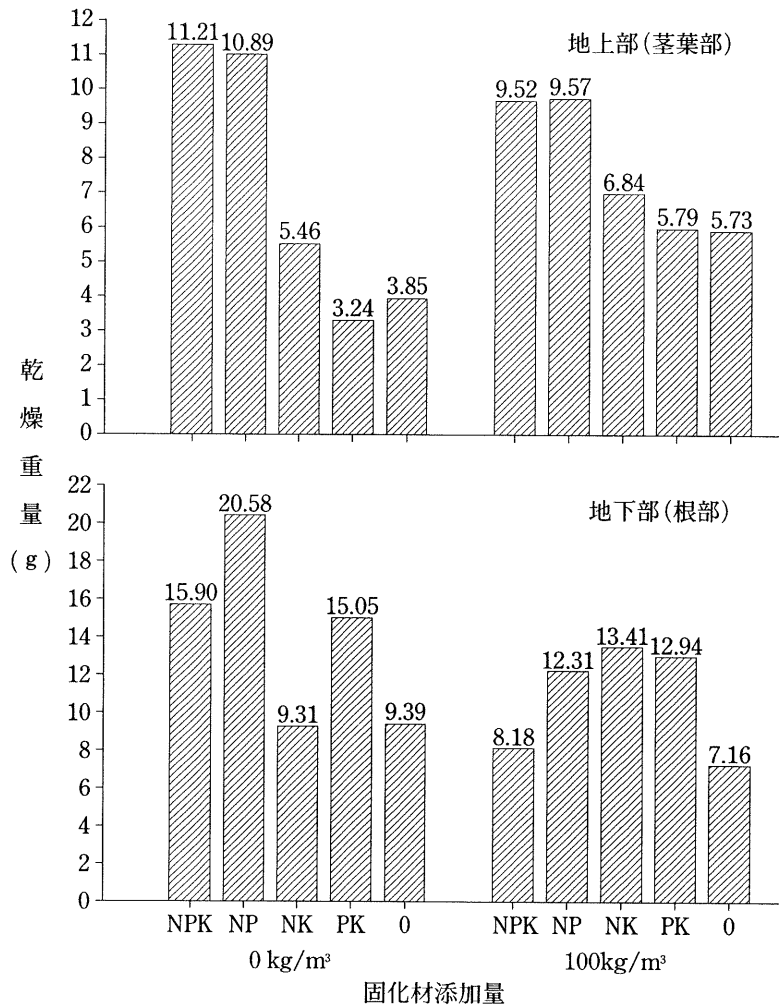


図-15 セメント系固化材の添加量と施肥方法の異なる土壌条件下で生育したケンタッキー・31・フェスキューの乾燥重量の差異

注) 実験方法は図-14のとおりであり、播種から140日後(1996年2月13日)に乾燥重量の計測を行った。
上段：地上部(茎葉部)、下段：地下部(根部)

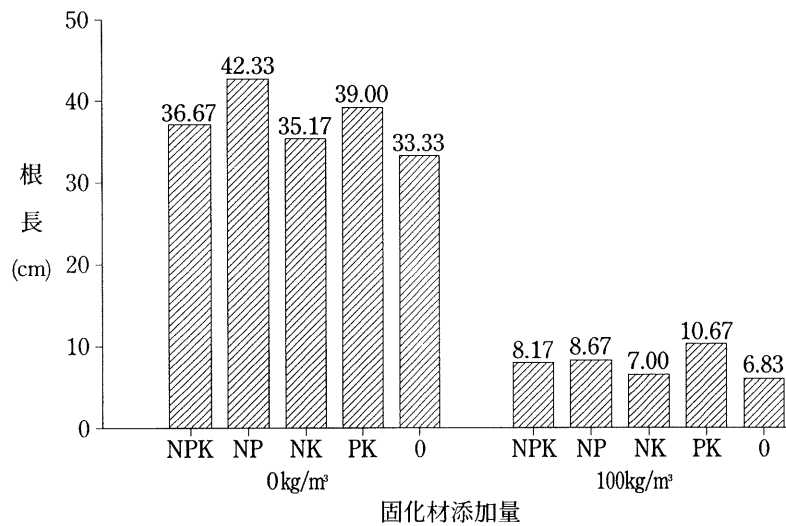


図-16 セメント系固化材の添加量と施肥方法の異なる土壌条件下で生育したケンタッキー・31・フェスキューの根長の差異

注) 実験方法は図-14. のとおりであり、播種から140日後(1996年2月13日)に根長の計測を行った。



写真－22 固化材の添加された土壌と無添加の土壌における施肥方法の異なるケンタッキー・
31・フェスキューの生育状態

注) 左3列0kg/m³区、右3列100kg/m³区、奥から無施肥区(O区)、無窒素区(PK区)、無磷酸区(NK区)、無加里区(NP区)、三要素区(NPK区)



写真－23 固化材の添加された土壌と無添加の土壌における施肥方法の異なるケンタッキー・
31・フェスキューの生育処理後の掘上げ状態

注) 上段：0 kg/m³区、下段：100kg/m³区、右から無施肥区 (O区)、無窒素区 (PK区)、無リン酸区 (NK区)、無加里区 (NP区)、三要素区 (NPK区)

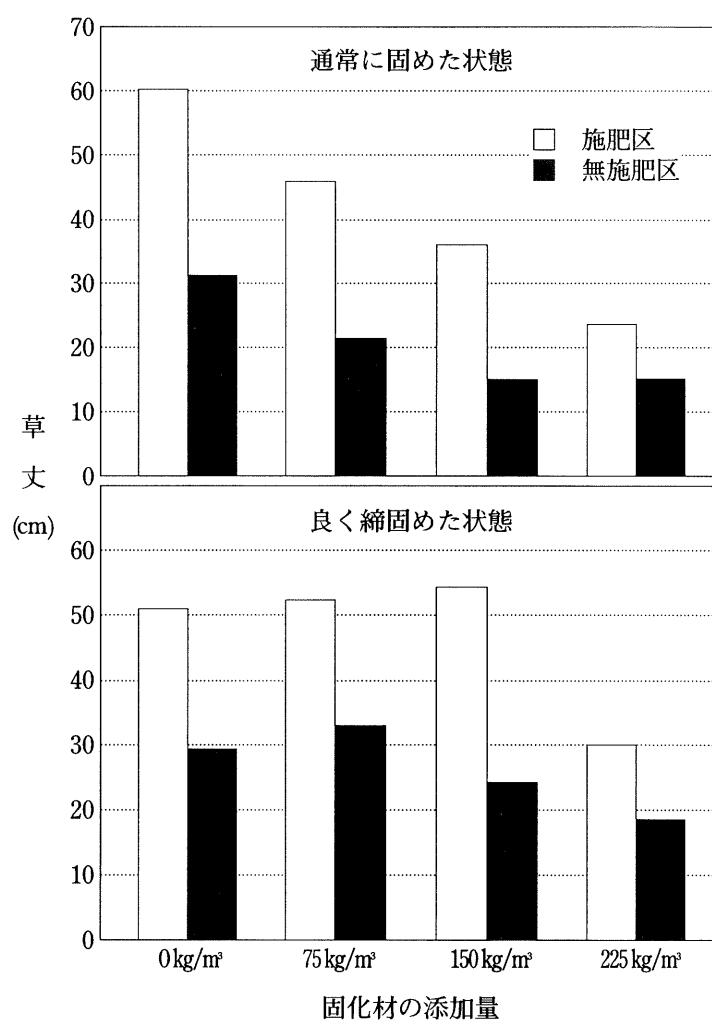


写真-24 固化材の添加された土壌と無添加の土壌における施肥方法の異なるケンタッキー・
31・フェスキューの生育処理後の根洗い状態

注) 上段：0 kg/m³区、下段：100kg/m³区、右から無施肥区 (O区)、無窒素区 (PK区)、無磷酸区 (NK区)、無加里区 (NP区)、三要素区 (NPK区)

2) 盛土斜面での実験について

前章の現場盛土斜面での生育実験において、播種から14か月後にトールフェスクコモンの各実験区の左半分には施肥を行った。施肥は粒状固形肥料（N：P：K＝6：4：3）を250g/3m²与えた（純窒素分5g/m²計算）。草丈の計測を施肥から4か月後に行った。その結果、前章の結果と同様、無施肥区では固化材添加量の増加に伴って草丈は低くなっていたが、施肥区では、それぞれ草丈の伸長を促進していた（図－17、写真－25）。またバックホウを用いて掘上げた結果、施肥による土壌中の根の侵入した深さや根長への効果は認められなかった。



図－17 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる盛土斜面で生育したトールフェスク・コモンの施肥の有無による草丈の差異

注) 実験方法は図－11に準じている。1997年8月2日に施肥を行った。N：P：K＝6：4：3を純窒素分で5g/m²で計算し、各実験区の左半分には250g/3m²施肥した。計測は播種17か月後（施肥4か月後）の1997年11月28日に行った。



写真-25 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下において、施肥区と無施肥区で生育したトールフェスク・コモンの掘上げ後の状態

注) 上段は通常に締固めた状態、下段は良く締固めた状態。写真中の上は施肥区、下は無施肥区。
左から固化材の添加量 0、75、150、225kg/m²区。

3) まとめ

固化材の添加量が増すにしたがって、根の伸長も著しく抑えられるが、施肥によってその根の伸長を助長するような効果は認められなかった。しかし窒素分を含む肥料を与えることによる草丈の伸長促進は、固化材が添加された土壌において根の伸長が抑えられていても、無添加の土壌と同様に効果が現れた。

5. まとめ

新時代の土木現場においては環境的配慮から、建設発生土の再利用によるセメント系固化材の添加された空間条件がさらに拡大すると考えられ、同時に修景効果を高めるための緑化が大いに期待される場所である。しかし、セメント系固化材を用いて改良された土壌では、その目的から転圧による締固めがなされ、また高アルカリ条件となるために、従来から植生は不可能であると考えられてきたが、その可否は明らかではなかった。そこで、セメント系固化材の添加された土壌条件下における植生の可能性について明らかにするために実験を進めてきた。

予備試験に基づき、泥吹き工法を行うことで、固化材の添加量に関わらず発芽は認められた（トールフェスク・コモン、イタチハギ）。但し、その添加量が増すに従って、発芽数が減少したり、一度発芽したものが後に一部枯れ込む現象も認められた。

以後の生育は、固化材の添加量が増すにつれて、草丈や根の長さが短くなるなど、抑制生育が認められたが、瀕死の状態ではなかった。さらに施肥の効果として、固化材が添加されることによって茎葉部、根系部共に抑制された生育であったものが、施肥を行うことで茎葉部の伸長成長を促進するなど、窒素肥料の効果が明らかとなった。以上のようにセメント系固化材の添加された土壌条件下においても、初期成育が可能であり緑化の可能性は十分にあることが分かった。

なお、ポット実験から現場の盛土斜面での実験を通して、対象土となった砂質ロームの場合には固化材の添加量が $100\text{kg}/\text{m}^3$ 程度まではその土壌内に根が侵入し緑化の永続性も期待できると考える。固化材添加量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以上では高い固化強度発現のために根が侵入できず根系の発達は泥吹き面の極めて薄層部のみとなり、地上部の伸長も顕著に抑えられることから、その生育が永続的であるかを明らかにすることは今後の課題といえる。

さらに今後の展開としては、締固めの高い硬度や高アルカリに耐える種類（特に花材料）を開拓していくことや、また固化材が添加された改良土面に、薄層土壌を好む種類を導入することで、固化処理面を修景することも一法であると考えられる。

参考文献

- (1) (社) セメント協会 (1985)：セメント系固化材による地盤改良マニュアル
- (2) 近藤三雄 (1995)：セメント系固化材による固化処理土への植生実験
結果報告書 (平成 6 年度)
- (3) 近藤三雄 (1996)：セメント系固化材による固化処理土への植生実験
平成 7 年度研究報告
- (4) 近藤三雄 (1997)：セメント系固化材を用いた盛土斜面における植生実験
平成 8 年度研究報告
- (5) 近藤三雄・飯島健太郎・橘田一臣・石谷和宏 (1996)：セメント系固化材を添加した高アルカリ、高硬度条件下における芝草の発芽生育について、第50回セメント技術大会講演要旨、pp.222-3
- (6) 近藤三雄・谷田部葉子・飯島健太郎・石谷和宏・橘田一臣 (1996)：セメント系固化材の添加量並びに締固め度合の異なる条件下における芝草の生育とその促進策、第50回セメント技術大会講演要旨、pp.224-5
- (7) 近藤三雄・飯島健太郎・大森啓至 (1997)：セメント系固化材を用いた盛土斜面における植生実験、第51回セメント技術大会講演要旨、pp.186-7
- (8) 近藤三雄・飯島健太郎・大森啓至・小林幸一 (1998)：セメント系固化材を用いた盛土斜面における植生実験と施肥の効果、第52回セメント技術大会講演要旨、pp.310-1

資料－ 1

関 連 発 表 論 文

研究報告

〔111〕セメント系固化材を添加した高アルカリ、高硬度条件下における芝草の発芽生育について

東京農業大学農学部造園学科 近藤三雄 ○飯島健太郎
(社)セメント協会 橋田一臣 石谷和宏

1. 研究目的

セメント系固化材を用いて処理された盛土は高い硬度と強アルカリ性を示す。また固化材の含有量が多くなればなるほど硬度とアルカリ性が強くなる。さらに土木構造的な安定を目論んで転圧をかけることから植栽基盤としてかなり劣悪な条件となる。本研究では固化材の添加量の違いや転圧の有無によって土壌が異なる状態を示すか、またそれらの条件下での芝草の発芽および生育反応を明らかにすることを目的とする。

2. 実験内容ならびに方法

本研究では前記の目的に基づき芝草（クシタキ・31・フィスター）を供試植物として発芽実験ならびに生育実験を実施した。まず発芽実験については関東火山灰心土（5mm目のふるいを通過）に6段階の固化材の添加量（0、50、100、150、200、250kg/m³）を設定し東京都世田谷区内の大学研究棟室内で実施した。実験にはシャーレを用い、1シャーレに50粒を1995年6月5日に播種し、同年6月26日に発芽数を、8月7日には草丈を測定した。

次に生育実験については4段階（0、50、100、150kg/m³）の添加量と転圧（5kg/cm²）の有無の組合せを設定し東京都世田谷区内の大学園場で実施した。実験ポットは1/5000aワグネルポットを使用し1994年9月20日に1ポットに1000粒播種した。実験期間中の土壌状態を把握するために土壌硬度（山中式硬度計、コーンペネトロメーター）、pHの調査を行った。実験は1995年3月6日に終了し草丈、地上部、地下部の乾燥重量の測定を行った。同時に掘上げを行った際に実験区による根の分布域の違いが明確に現れたので、土壌表層からの根域の深さについての調査も行った。なお1994年12月21日までは野外で実験を行ったが、それ以後1995年3月6日までは冬期の低温を避けるために温室内で生育実験を継続した。いずれの計測も3反復で行った。

3. 実験結果ならびに考察

発芽実験の結果については図-1に示す通りである。発芽率には固化材の添加量0～250kg/m³という範囲において差は見られなかった。しかし草丈には固化材の添加による影響が見られ固化材の添加量が増すにつれて抑えられており250kg/m³区では0kg/m³区の1/2以下になっている。

次に生育実験の実験期間中の土壌硬度の変化については表-1に、pHについては表-2に示した。土壌硬度は山中式土壌硬度計による測定では全体的に転圧区は無転圧区より高い硬度を示している。また添加量が多くなるほど段階的に土壌硬度も高くなっている。実験開始2ヶ月、3ヶ月目では転圧の有無に関わらず添加量0kg/m³区では指標硬度で10mm以下の値を示しているのに対し、添加量150kg/m³区では20mm前後の値を示している。コーンペネトロメーターによる測定でも転圧区では無転圧区に比較して明らかに高い硬度を示している。また固化材の添加量が増加するに従い段階的に土壌が締め固まっている。実験開始から3ヶ月目では転圧の有無に関わらず添加量

表-1 固化材の添加量の異なる条件下における実験結果

添加量	発芽率(%)	草丈(cm)
0kg/m ³	55.33	16.28 a
50kg/m ³	56.00	13.75 b
100kg/m ³	55.33	14.08 ab
150kg/m ³	58.00	12.07 b
200kg/m ³	47.33	8.66 c
250kg/m ³	56.67	6.66 c

注) 異なるアルファベット間で5%水準で有意差のあることを示す (Duncan法)

表-2 各実験区の実験期間中の土壌硬度

固化材の添加量 (kg/m ³)	実験開始から 1ヶ月後		実験開始から 2ヶ月後		実験開始から 4ヶ月後	
	山中 ¹⁾ コ-7 ²⁾		山中 コ-7		山中 コ-7	
	0	1	2	3	4	5
無	0	4	1	8	2	6
転	50	4	3	15	3	7
圧	100	4	3	17	10	9
	150	10	8	20	13	18
無	0	11	3	6	2	7
転	50	13	7	10	10	16
圧	100	16	11	18	19	18
	150	18	15	22	21	21

1) 山中：山中式土壌硬度計による測定結果 (cm)

2) コ-7：コーン・ペネトロメーター硬度計による測定結果 (kgf/cm)

0kg/m³区では3kgf/cm前後の値を示しているのに対し、添加量150kg/m³区では約40kgf/cmの値を示している。土壌pHについては実験期間通して添加量0kg/m³区ではpH6.5前後を維持していた。それに対して固化材の添加量が多くなるに従い、土壌pHは段階的に高い値を示した。実験当初添加量150kg/m³区の土壌pHは11にも及んでいたが時間の経過とともに次第に表面のpHが低下していく傾向にあり、添加量150kg/m³区では実験開始から約半年間でpH値は8にまで下降した。

そのような土壌条件下において供試植物は図-2のような生育状態を示した。実験終了時の草丈については全体的に見て固化材の添加量の多少によって明らかに異なっていることがわかる。すなわち固化材の添加量が多ければ多いほど草丈が短くなる傾向にあった。特に転圧区では添加量50kg/m³と100kg/m³以上の区との間で大きな差が見られるようになった。土壌表層からの根域の深さについて調査を行った結果、固化材の添加量の度合によって明らかに違いのあることが認められた。特に添加量0kg/m³区と50kg/m³区に比べて100kg/m³区、150kg/m³区では著しく根の分布域が浅いことが明らかとなった。しかし転圧の有無による影響の違いはさほど大きくは現れなかった。実験終了時の地上部(葉)の乾物重量の結果については転圧の有無や固化材の添加量に関わらず、同程度の重量になっており実験区ごとに大きな差は認められなかった。また地下部の乾物重量については全体的にみると添加量150kg/m³区以外無転圧区よりも転圧区のほうが小さい値を示した。しかし添加量別にみるとあまり大きな違いが見られなかった。

以上まとめると固化材の添加量が多くなるに従い土壌は段階的に締固まり、しかも高pHになることが明らかとなった。そのような条件下でケツタキ・31・フェイス-は固化材の添加量が増すと草丈や根の伸長等への影響は見られるものの、0~250kg/m³の範囲では発芽は可能であること、特に150kg/m³までは、すなわち土壌硬度については山中式で約20mm、コーンペネトロメーターで約40kgf/cm、pH値については約11までとなるが発芽、生育ともに可能であることが明らかとなった。

第50回セメント技術大会講演要旨 1996 より抜粋

表-3 各実験区の実験期間中のpHの変化

固化材の 添加量 (kg/m ³)	実験開始からの期間			
	1ヶ月後	2ヶ月後	4ヶ月後	6ヶ月後
0	6.6	6.3	6.4	6.7
50	9.8	8.0	9.6	7.5
100	10.8	8.3	10.1	7.8
150	11.2	9.4	10.8	8.0

表-4 固化材の添加量の違いと転圧の有無における生育実験の終了時の計測結果

添加量	草丈 (cm)	根域の深さ (cm)	乾燥重量(g)		
			地上部	地下部	
無	0kg/m ³	12.8 b	17.7 a	5.4 a	16.8 ab
転	50kg/m ³	10.3 c	11.3 c	4.0 bcd	15.8 b
圧	100kg/m ³	7.3 de	4.8 d	3.9 cd	21.5 a
	150kg/m ³	6.2 e	2.4 e	4.8 abc	10.2 c
無	0kg/m ³	13.9 a	14.7 b	5.0 ab	9.3 c
転	50kg/m ³	13.7 ab	11.3 c	5.0 ab	10.2 c
圧	100kg/m ³	8.1 d	3.0 e	3.8 d	11.7 bc
	150kg/m ³	7.1 de	1.8 e	3.4 d	7.7 c

注) 異なるアルファベット間で5%水準で有意差のあることを示す (Duncan法)

研究報告

〔112〕 セメント系固化材の添加量並びに締固め度合
の異なる土壌条件下における芝草の生育と
その促進策

東京農業大学農学部造園学科 近藤三雄 ○谷田部葉子 飯島健太郎
(社)セメント協会 石谷和宏 橋田一臣

1. 研究目的

セメント系固化材を用いて処理された土壌は高い硬度と強アルカリ性を示す。このような土壌環境は植栽基盤としてかなり劣悪な条件となる。また固化材の含有量が多くなればなるほど硬度とアルカリ性が強くなっていく。セメント安定処理法を用いて造成した盛土は安定化を図るために一定水準の硬度が要求される。そのために固化材が添加され転圧をかけることから土木構造的には安定するものの植物の生育にとっては大きな環境圧となる。そこで本試験ではセメント系固化材の添加量並びにC B Rを用いた締固めの違いによる芝草の生育反応を追求すると共に、その生育を助長する施肥効果についても究明することを目的とした。

2. 実験方法

本研究では前記の目的を達成するため、固化材の添加量ならびに締固めの違いによる生育実験(C B Rポット)ならびに固化材を添加した土壌における肥料3要素実験を行う。

まず固化材の添加量ならびに締固めの違いによる生育実験では実験容器にC B Rを使用し、関東火山灰心土にセメント系固化材を50kg/m³と150kg/m³添加する区を設け、それぞれにⅠ. 手詰め(振動を20回与えた後、拳で10回軽く押さえつける)3層、Ⅱ. 手詰め(振動を20回与えた後、拳で30回軽く押さえつける)3層、Ⅲ. 2.5kgランマーにて、15回/層、Ⅳ. 2.5kgランマーにて、25回/層の4段階の締固め強度を設定した。

はじめに予備実験として直播きを行い、いずれの区もほとんど発芽できないという結果を得たので、ケンタッキー・31・フェスキューの種子を1ポット当たり1000粒、少量の土壌と混ぜ合わせ播種する泥吹きで行った。ここでは、いずれの区も500本以上の発芽(発芽率50%以上)を得たので芽数を500本に調整し生育試験を開始し、草丈、乾燥重量(地下部、地上部別に)、根長について計測を行った。

次に固化材の添加した土壌における肥料3要素実験では1/5000aワグネルポットを使用し関東火山灰心土にセメント系固化材を0kg/m³と100kg/m³添加する区を設け、それぞれに3要素試験区すなわち無施肥区(0区)、無窒素区(P、K区)、無磷酸区(N、K区)、無加里区(N、P区)、三要素区(N、P、K区)を設定した。使用する肥料はおのおの窒素(硫酸)、磷酸(過磷酸石灰)、加里(硫酸加里)とし、1回当たりの施肥量が純窒素分で10a当たり10kgとし窒素、磷酸、加里の配合比は1:1:1となるように1/5000a当たりのそれぞれの使用標準量として1回の施肥時に1ポットあたり硫酸0.96g、過磷酸石灰1.18g、硫酸加里1.18g施用した。実験は1ポット当たり1000粒播種した。いずれの区も500本以上の発芽(発芽率50%以上)を得たので1ポット当たり芽数を500本に調整し、各実験区に対し2回施肥(約2ヶ月後)を行った。草丈、乾燥重量(地下部、地上部別に)、根長について計測を行った。

3. 実験結果ならびに考察

固化材の添加量ならびに締固めの違いによる生育実験における実験終了時の山中式土壌硬度・透水係数を表-1に示す。土壌硬度をみるとほとんどの区が根の伸長を阻害するような値となっており、また透水係数を見ても、植物の生育にとって望ましい状態は10⁻³~10⁻⁴cm/secで10⁻⁵以下では透水性が不良となるといわ

表-1 実験終了時の土壌硬度と透水係数

添加量 (Kg/m ³)	締固め の度合	土壌 硬度 ¹⁾ (mm)	透水係数 ²⁾ (cm/sec)
50	I	10.50	8.53*10 ⁻⁴
	II	14.50	8.70*10 ⁻⁶
	III	27.50	8.47*10 ⁻⁶
	IV	32.17	8.63*10 ⁻⁷
150	I	22.00	6.31*10 ⁻⁴
	II	28.83	1.11*10 ⁻⁵
	III	33.67	8.27*10 ⁻⁶
	IV	33.50	1.62*10 ⁻⁷

1)山中式土壌硬度計による

2)材齢3ヶ月目の値

れていることから、ほとんどの区が劣悪な土壌条件であることが分かる。次に、草丈・根長・乾燥重量(地上部・地下部)の計測結果を表-2に示した。いずれの実験区においても締固めの度合による草丈の違いは認められなかった。しかし、添加量150kg/m³では50kg/m³より草丈が低かった。乾燥重量にも大きな差異は認められなかった。なお根長では固化材の添加量の増加また、締固めの度合いが増すにつれ伸長が抑えられている。

次に固化材を添加した土壌における肥料3要素実験の実験終了時の草丈・根長・乾燥重量(地上部・地下部)の計測結果を表-3に示す。添加量の違いに関わらずNPの含まれている区では、草丈は伸長し地上部乾燥重量は大きな値を示した。地下部乾燥重量では、0kg/m³区ではNPを含む区で大きな値を示したが100kg/m³ではいずれの試験区にも大きな差は見られなかった。さらに、根長では添加量の違いにより施肥効果の差が表れ、0kg/m³では根の伸長を促すPを含有する区では含有していない区より伸長している。しかし、100kg/m³では同じPが入っていても強アルカリ性土壌のためその吸収は抑えられ、どの区もほとんど差がない。

以上まとめるとC B Rを用いた生育試験では泥吹きによる播種を行うことで発芽生育が可能となるが、添加量が増加するほど、また締め固め度合いが増すほど草丈・根長の伸長は抑えられる。

さらに施肥の効果について行った実験では添加量が多い150kg/m³では、根域が制限されているもののいずれの施肥区においても0kg/m³との地上部における施肥効果の差はない。しかし固化材の添加量50kg/m³と150kg/m³の両区においてNPを含有する区に置いては地上部の生育を助長する効果が見られた。

表-2 固化材の添加量と締固め強度の違いによる生育実験の終了時の計測結果

		草丈 (cm)	根長 (cm)	乾燥重量(g)	
				地上部	地下部
50 kg/m ³ 区	I	12.94 a	23.33 a	4.22 bcd	4.71 b
	II	11.03 b	11.33 b	4.45 bc	4.36 b
	III	12.77 a	7.00 de	4.91 b	4.64 b
	IV	10.71 b	7.67 cd	4.54 bc	5.11 ab
150 kg/m ³ 区	I	10.69 b	9.83 bc	6.45 a	7.62 a
	II	8.56 c	6.00 de	4.88 b	3.59 b
	III	7.91 c	4.50 ef	4.06 cd	5.00 ab
	IV	8.42 c	2.67 f	3.59 d	4.28 b

注1) 異なるアルファベット間で5%水準で有意差のあることを示す (Duncan法)

注2) 締固め強度 I II III IVについては文中参照

表-3 固化材の添加した土壌における肥料3要素実験の終了時の計測結果

		草丈 (cm)	根長 (cm)	乾燥重量(g)	
				地上部	地下部
0 kg/m ³ 区	NPK	11.58 ab	36.67 ab	11.21 a	15.90 ab
	NP	12.13 a	42.33 a	10.89 a	20.58 a
	NK	7.09 de	35.17 b	5.46 d	9.31 cd
	PK	7.87 cd	39.00 ab	3.24 e	15.05 abc
	0	6.33 e	33.33 b	3.85 e	9.39 bcd
100 kg/m ³ 区	NPK	8.87 c	8.17 c	9.52 b	8.18 d
	NP	10.67 b	8.67 c	9.57 b	12.31 bcd
	NK	7.29 de	7.00 c	6.84 c	13.41 bcd
	PK	7.41 de	10.67 c	5.79 cd	12.94 bcd
	0	6.93 de	6.83 c	5.73 cd	7.16 d

注) 異なるアルファベット間で5%水準で有意差のあることを示す (Duncan法)

研究報告

〔93〕 セメント系固化材を用いた盛土斜面における
植生実験

東京農業大学農学部 近藤三雄 ○飯島健太郎
(社)セメント協会 大森啓至

1. 研究目的

セメント系固化材で処理された盛土は高い硬度と強アルカリ性を示す。また添加量が多くなるほど硬度とアルカリ性が強くなり、土木構造的には安定するが植生基盤としては劣悪な条件となる。本研究では実現場の盛土斜面において、固化材の添加量の違いと緑化用植物の発芽、生育特性を把握することを目的とする。

2. 実験方法

実験地は斜面長2m、勾配30度の斜面で砂質ロームである(千葉県我孫子市)。実験区は固化材の添加量0、75、150、225kg/m³の各固化処理土を用いて、それぞれ改良厚さ50cmで施工した。締固めは処理土の敷均し厚を25cmとし、法面バケットで表面を押さえ転圧した。播種は1996年6月27日に3cm厚の泥吹きで行った。トルフ・スコ・コンは7.2kg/100m²(400粒/g)、イタハキは3.0kg/100m²(40粒/g)播種した。播種後の土壌硬度の計測については、泥吹き面は毎月行い、改良土壌部は播種3か月後から毎月行った。pHは毎月採土し測定を行った。植生調査は播種後の発芽状況を把握するために播種2週間後、1、2か月後の成立本数、実験期間中の生育状態を把握するために草丈の計測を毎月行った。さらに実験終了時の生育状態の違いを把握するために1997年3月5日に掘上げを行い土壌中に侵入した根の深さ、根長、生体重について3月5日~7日にかけて計測を行った。

3. 実験結果と考察

3. 1 実験期間中の土壌硬度、pHの変化

泥吹き面の硬度は播種1か月後には固化材を添加したことによる差異が認められ添加量0kg/m³は山中式土壌硬度計の指標硬度で15mm、75、150kg/m³で25mm前後、225kg/m³で30mm強と段階的な固さを示した。2か月後以降の各区の差異は少なく、225kg/m³で25mm前後を示し、他の区では15~20mmを示した。改良土壌部の硬度は播種3~6か月後まで、0kg/m³で20mm弱、75、150kg/m³で25mm前後、225kg/m³で30mm強と段階的な固さを示した。播種6か月以降では0kg/m³で10mm、75、150kg/m³で20mm弱、225kg/m³で25mmとなり、いずれも播種6か月以前に比べて軟弱化した。土壌pHは0kg/m³で6~7を示したが、75~225kg/m³では播種1か月後は75kg/m³で10、150kg/m³で11、225kg/m³で12となった。以後変動はあるものの8~9に下降する傾向が認められた。

3. 2 成立本数

トルフ・スコ・コンは播種2週間後、添加量0~150kg/m³で600本/900cm²となり、順調に発芽したが、1~2か月後はいずれも徐々に減少する傾向にあった。特に2週間~1か月後の減少は著しく、酷暑と干天によって軟弱な株が淘汰されたことが推察された。2か月後では0kg/m³に対して75kg/m³では約55%に、150kg/m³では約27%に、225kg/m³では約20%に減少した。イタハキは発芽が遅く、0kg/m³においても播種2週間後では11本/900cm²と少なく、75、150kg/m³では7本/900cm²、225kg/m³では0本/900cm²と固化材の添加量が多くなるにつれて発芽が抑制された。その後も新たに発芽し、0kg/m³において播種1か月後は54本/900cm²、2か月後は61本/900cm²と増加した。2か月後では0kg/m³に対して、75、150kg/m³で約75%に、225kg/m³では約50%に減少した。

3. 3 草丈(図1)

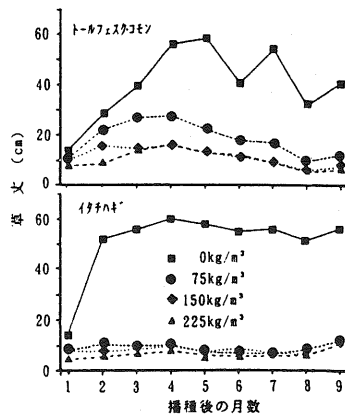


図1 実験期間中の草丈の変化

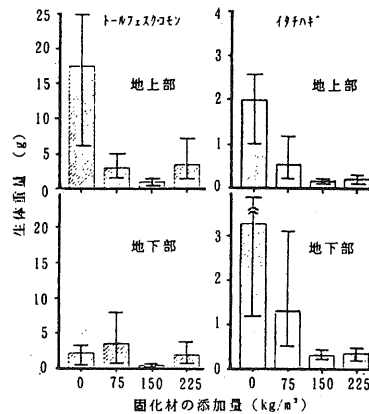


図2 実験終了時の生体重量

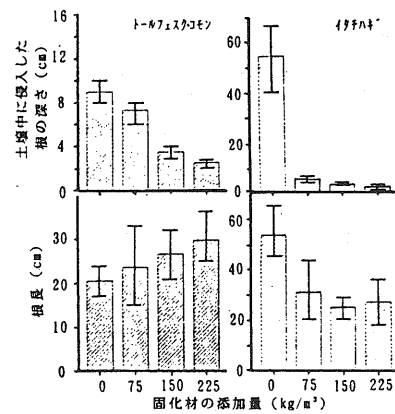


図3 土壌中に侵入した根の深さと根長

トルフェスカ・コモンは添加量 0kg/m^3 では播種5か月後まで伸長し 60cm に達し、 75kg/m^3 では播種から4か月まで伸長し 30cm に達した。 150 、 225kg/m^3 では播種1か月までに 10cm 近くに達したものの、以後僅かに伸長するのみで 15cm 程度にとどまっていた。イタチハギは 0kg/m^3 では播種から2か月まで急速に伸長し 50cm に、さらに3か月までに 60cm に達し以後、落葉期に入り伸長も停止した。 75 、 150 、 225kg/m^3 では播種1か月後で $5\sim 10\text{cm}$ に達したものの、以後の伸長は認められなかった。両種ともに 0kg/m^3 に比べて $75\sim 150\text{kg/m}^3$ では1~3か月も前に伸長が停止している現象が認められた。

3. 4 生体重量 (図2)

トルフェスカ・コモンの地上生体重量は 0kg/m^3 で 17g に対し、 75 、 150 、 225kg/m^3 では 3g 前後と極端に少ない値を示した。地下部生体重量は 0kg/m^3 では 2g と地上部に比較して著しく少なかった。 75 、 150 、 225kg/m^3 では、ほぼ地上部と同様の重量を示した。イタチハギの地上生体重量は 0kg/m^3 で 2g に対し、 75kg/m^3 では 0.5g 、 150 、 225kg/m^3 では 0.2g 前後と添加量が増すほど少ない値を示した。地下部生体重量は 0kg/m^3 で 3.3g 、 75kg/m^3 では 1.3g 、 150 、 225kg/m^3 では 0.4g 前後と添加量が増すほど少ない値を示したが、いずれも地上部の2倍前後の値となっていた。

3. 5 土壌中に侵入した根の深さと根長 (図3)

トルフェスカ・コモンの根の侵入した深さは 0kg/m^3 では 9cm 、 75kg/m^3 では 7cm 、 150kg/m^3 では 3cm 強、 225kg/m^3 では 3cm 弱となり、イタチハギの根の侵入した深さは 0kg/m^3 では 55cm 、 75kg/m^3 では 5cm 、 150kg/m^3 では 3cm 、 225kg/m^3 では 2cm となっていた。つまり 75kg/m^3 では十分に根が侵入すること、 150kg/m^3 では僅かに改良土壌表面に侵入すること、 225kg/m^3 では改良土壌中に根が侵入しないことが判明した。トルフェスカ・コモンの根長については 0kg/m^3 では 20cm 、 75kg/m^3 では 24cm 、 150kg/m^3 では 27cm 強、 225kg/m^3 では 30cm 弱となっており、添加量が増すにつれて長い傾向にあり水平方向の根の発達が旺盛であったといえる。イタチハギの根長については 0kg/m^3 では 55cm 、 75kg/m^3 では 30cm 強、 150kg/m^3 では 25cm 強、 225kg/m^3 では 27cm となっており、 $75\sim 225\text{kg/m}^3$ では差は認められなかった。 0kg/m^3 では根の侵入した深さと根長が同じ値であり直根が垂直方向に伸長したが、 75 、 150 、 225kg/m^3 では土壌中に侵入した根の深さよりも根長が著しく大きく、直根が水平方向に伸長したといえる。

4. まとめ

盛土斜面において固化材の添加量の違い (0 、 75 、 150 、 225kg/m^3) によるトルフェスカ・コモン、イタチハギの生育可能性について検証した。両種とも添加量が増すに従って生育の抑制が認められたが、 225kg/m^3 においても生育可能性のあることが判明した。ただし改良土壌中へ十分に根が発達するのは 75kg/m^3 程度までであり、 150kg/m^3 以上では実験期間内では根域が泥吹き層のみとなり極めて抑制された生育状態となり、今後の生育が懸念される。

研究報告

〔155〕 セメント系固化材を用いた盛土斜面における
植生実験と施肥の効果

東京農業大学地域環境科学部 近藤三雄 ○飯島健太郎
(社)セメント協会 大森啓至
(社)セメント協会・研究所 小林幸一

1. 研究目的

前報¹⁾において、セメント系固化材が添加された実現場の盛土斜面における緑化の可能性を探るため、固化材の添加量の違い(0、75、150、225kg/m³)による芝草(トールフェスク・コモン)、低木(イタチハギ)の発芽、生育特性について検討した結果、両種とも添加量が増すに従って、成立本数の減少や伸長の抑制が認められたが、225kg/m³においても生育可能性のあることを報告した。ただし75kg/m³では固化材が添加された土壤中へ十分に根が発達したが、150kg/m³以上では実験期間内では根域が泥吹き層のみとなり極めて抑制された生育状態となり以後の生育が懸念された。すでに筆者ら²⁾は、ポット実験において固化材の添加された土壌条件下における芝草への施肥の効果として、N肥料による地上部(茎葉部)の生育促進効果のあることを確認している。そこで本研究では固化材の添加された実現場の盛土斜面において生育の助長策としての施肥(追肥)の効果について検討した。

2. 実験方法

実験は、固化材が0、75、150、225kg/m³の各々に添加された現場盛土斜面において生育しているトールフェスク・コモンを対象に行った。実験地の特徴、実験当初の固化処理の方法、播種方法等は前報¹⁾を参照されたい。1997年8月2日(播種から14か月後)に各実験区の左半分に施肥を行った。施肥は粒状固形肥料(N:P:K=6:4:3)を250g/3m²与えた。同年11月28日(施肥から4か月後)に土壌硬度計、コーン・ペネトロメーターによる土壌硬度、pH、草丈の計測を行い、同日バックホウで掘り上げ、根部の観察も行った。

3. 実験結果と考察

3. 1 土壌硬度とpH

施肥実験の終了時点、すなわち固化材が添加されてから17か月での土壌硬度(表1)は、表層と盛土内部の差はほとんどなく、0、75kg/m³区で15mm前後、150kg/m³区で25mm前後、225kg/m³では30mm強と、またコーン・ペネトロメーターによる土壌硬度は、0kg/m³では13kgf/cm²、75kg/m³では25kgf/cm²、150、225kg/m³では30kgf/cm²と添加量の増加と共に硬度も増加した。

土壌pH(表2)は、0kg/m³区でおよそ6であったが、75~225kg/m³区の境界部分ではおよそ8.5、改良土壌内ではおよそ11と高アルカリ状態であった。またそれぞれの施肥区でもほぼ同様の値であり、施肥によってpHが変動することはなかった。

3. 2 トールフェスク・コモンの生育状態

無施肥区の草丈は0kg/m³で30cmに対し、75kg/m³で20cm、150、225kg/m³では15cmとなっており固化材の添加量の増加と共に草丈は抑えられていたものの、前報¹⁾に比較して0kg/m³では50%に、75kg/m³では65%程度に抑えられており、また150、225kg/m³では前報と同様であった。すなわち、0、75kg/m³下における草丈の抑制は、施工時に泥吹き材に含まれていた肥料分が欠乏したことによる反応と考えられるが、150、225kg/m³で

は当初から高硬度条件下で草丈が抑制されていたために大きな変化がなかったと思われる。一方、施肥（追肥）を行って4か月経過した区の草丈は0、75、150kg/m³では無施肥区に比較して2倍の長さに、225kg/m³では1.5倍の長さとなっており、施肥の効果が認められた（図1）。根の伸長については、0kg/m³では施肥によってその発達が促されたものの、固化材が添加されたいずれの区も、施肥による根の伸長促進効果は認められなかった（写真1）。

なお、草丈の伸長はN肥料によるものであり、固化材が添加された土壌においてもその効果が発揮されたといえる。しかし根の生育促進作用のあるとされるP肥料は0kg/m³にのみで効果が見られ、固化材が添加されアルカリ化した土壌ではその吸収が抑えられることから効果がなかったと考えられる。

表1 盛土表層、内部の土壌硬度

添加量 (kg/m ³)	土壌硬度計(mm)		コン・ペ・ネトメータ (kgf/cm ²)
	表層	盛土内部	
0	13.0 (4.4)	16.0 (2.0)	13.7 (4.42)
75	14.7 (2.1)	19.3 (1.5)	25.0 (0.12)
150	23.0 (2.0)	28.7 (2.9)	31.1 (1.61)
225	32.3 (4.0)	31.3 (0.6)	29.2 (0.95)

表2 改良土壌のpH

添加量 (kg/m ³)	境界部分		盛土内部	
	無施肥	施肥	無施肥	施肥
0	5.7	6.9	5.8	6.0
75	8.5	8.3	11.5	11.4
150	8.6	8.1	11.7	11.3
225	8.8	8.2	11.9	8.7

注) 単位はmm。括弧内は標準偏差。現場における処理土の敷均し厚は25cmで、法面バケットで表面を押さえ、転圧された場所。測定日は、1997年11月28日で転圧作業から17か月後の時点である。

注) 境界部分とは泥吹層と改良土壌部分の境目付近の土壌。サンプルの採取は1997年11月28日に行った。

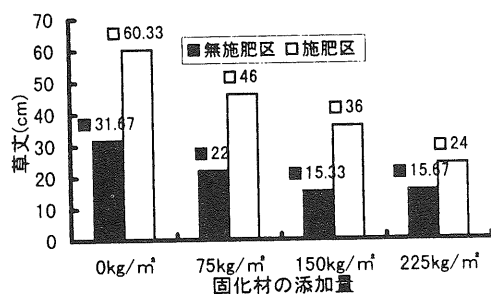


図1 固化材の添加量の違いと施肥の有無による芝草の生育の差異(草丈)

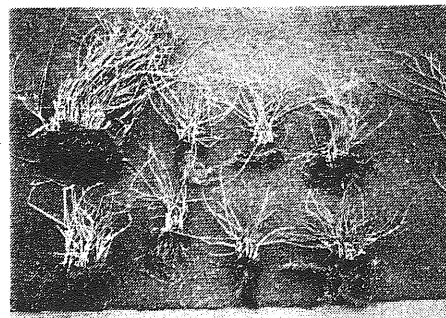


写真1 固化材の添加量の違いと施肥の有無による芝草の生育状況

注) 上段：施肥区、下段：無施肥区、左から添加量0、75、150、225kg/m³

4. まとめ

固化材が添加されることで抑制された芝草の生育の助長策として、施肥の効果について検討した結果、固化材が添加された条件下での根に対する伸長促進効果は認められなかったものの、草丈の伸長に対する効果は認められ、無施肥に比較して1.5～2倍の草丈に生育した。

【参考文献】

- 1) 近藤三雄, 飯島健太郎, 大森啓至, セメント系固化材を用いた盛土斜面における植生実験, 第51回セメント技術大会講演要旨, pp. 186-187 (1997)
- 2) 近藤三雄, 谷田部葉子, 飯島健太郎, 石谷和宏, 橘田一臣, セメント系固化材の添加量並びに締固め度合の異なる土壌条件下における芝草の生育とその促進策, 第50回セメント技術大会講演要旨, pp. 224-225 (1996)

資料－ 2

關 連 新 聞 記 事

固化土壌を直接緑化

植栽に配慮した施工を

景観性や都市におけるビ

う。

ートアイランド現象の緩和、雨水を浸透させ徐々に排出する等の目的からビル

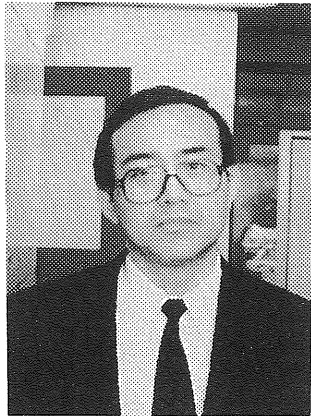
の屋上やコンクリート壁等特殊空間への緑化のニーズが高まっているが、これら

の他にも、セメント系固化材を使用した盛土への植栽の可能性も検討されている。こうした様々な緑化工法の現状と課題について、造園学の立場から東京農業

大学農学部造園学科近藤三雄教授に聞いた。

東京農業大学農学部造園学科

近藤三雄教授



「コンクリート構造物の屋上や壁面、また固化材を使つて締固めた土壌等、従

来植栽しにくかった場所への緑化に対するニーズは非常に高まっており、今後に向

ける緑化とコンクリート構造物との関係は益々密接なものになっていくでしょう。

緑化する際に従来は、台形

盛土の上に植栽盛土として

がコンクリートサイドと植

物サイド、二つの研究の歩

み寄りであると思います。

固化材の例を挙げますと、

その場合、重要になるのがコンクリートサイドと植

物サイド、二つの研究の歩

み寄りであると思います。

固化材の例を挙げますと、

の入手が困難になった昨

今、固化材を加えた台形盛

土に直接緑化する手法が考

えられます。

さて固化材を使つて台形

盛土を成型する際に一定の

強度を得るために締固めが

行われた場合、ここで緑化

を考えると、あまり堅く締

固まった状態では植物の根

が入っていかない。従つて

緑化を前提として、ここま

での締固めなら基礎地盤と

しての強度的安定が図れる

し、更に植栽も可能になる

というような、その辺りの

接点を明らかにする必要が

あるでしょう。

そのためには、従来まで

の土木設計的な研究と植物

の生育環境を考えた生物技

術的な研究の歩み寄りが不

可欠であることは言うまで

もありません。

次にコンクリート構造物

の緑化に目を移して一例を

挙げますと、建築物の壁面

や、土木ではダムの擁壁や

高架構造の道路のピアの部

分などのコンクリート構造

物の壁面を緑化する場合、

つる植物を吸着させて緑化

する手法がありますが、今

迄は現状のセメント・コン

クリートの材質の表面を想

定しそれに合せた緑化の手

法が採られていましたが、

我々植物サイドからみま

す、逆につる植物の根が吸

着しやすい構造に表面加工

してもらうと緑化がしやす

く構造物としてのメンテナ

思っています。

土質安定処理に欠かせない材料であるセメント系固化材は現在、年間約五〇〇万トンの需要量で推移している。セメント協会は、この固化材の普及・拡大のため、開発・普及委員会のなかにセメント系固化材推進専門委員会を設置、各種セミナーや講習会の開催など積極的な活動を展開している。また、技術面では『セメント系固化材による地盤改良マニュアル』の発行や固化材を使用した改良柱体の長期安定性実験を行っている。ここでは、同委員会の植生ワーキンググループ（WG）の活動状況を紹介する。

セメント協会

処理土の植生を調査

開発・普及に積極活動

植生WGは九四年度に設置されたもので、『固化処理土への植生』を体系的に調査することを目的として、緊急の課題となっている。建設省では、総合建設技術開発プロジェクトのなかで『建設副産物の発生・再利用技術の開発』をテーマとして、建設汚泥を埋戻し土として再利用することや、発生土を改良することにより高付加価値化する技術の開発を行っている。こうしたことからpH値と植生の相関関係の解明が求められていた。

一方、客土材（盛土材）が建設現場において次第に入手が困難になっており、固化処理の植生が容易であれば、これをより付加価値の高い客土材として有効に利用できるメリットは大きい。そこで建設副産物（建設発生土・建設廃棄物）の

処分は処分場の逼迫などから、とくに大都市圏では緊急の課題となっている。建設省では、総合建設技術開発プロジェクトのなかで『建設副産物の発生・再利用技術の開発』をテーマとして、建設汚泥を埋戻し土として再利用することや、発生土を改良することにより高付加価値化する技術の開発を行っている。こうしたことからpH値と植生の相関関係の解明が求められていた。

このままの実験結果は、今年一月に『セメント系固化材による固化処理土への植生実験・中間報告（近藤教授）』としてまとめられ、一般に植物の生育に悪い土とはどういふものか。――「土壌には物理的、科学的性質で悪い面がある。実



近藤教授

「日本の自然土壌であれば、だいたいの弱酸性から中性が広く分布している。pHでいうと5.5から6.5くらい。たまたまpHが2とか3とか、酸性硫酸塩土壌とか、特異な例もみられるが、それはかなりスポット的といえる。逆にpHが高いところも基本的には自然土壌では少ないといえる。たまたま臨海埋立地などでpHが8

から9になる場合もあるが、ただ何年かすれば雨が降って脱酸して中性に近しいものとなる」

「pHの問題は植物にとって、養分や水分を吸収する能力とかかわりをもつ。中性に近いところでは吸収効率が良くなる。一方、酸性やアルカリ性に傾くと吸収効率が落ち、肥料の量を倍にすることが必要となる」

――「それはセメント系固化材を使用した場合、植物にどのような影響が考えられるか」

――「懸念される問題は二点あり、その一つは当然高いアルカリをもちたすことで、その条件下で植物が発芽・育成できるのか、という問題。実は、この問題は十五年程前から問題ではな

いとされてきた。二十年前に道路の法面を緑化する方法の一つとして、ON工法が開発されていた。これはセメント・コンクリートのなかに芝草の種を入れて吹き付けけるもので、当時はpHが10を超えて植物が発芽・育成するかと思っていたが、その後見事に育成した。今回、固化材の植生実験を依頼された時も、これまでの経験から十分植生は可能と思っていたが、予想二九mm以下であれば十分と

「たまたま臨海埋立地などでpHが8から9になる場合もあるが、ただ何年かすれば雨が降って脱酸して中性に近しいものとなる」

「pHの問題は植物にとって、養分や水分を吸収する能力とかかわりをもつ。中性に近いところでは吸収効率が良くなる。一方、酸性やアルカリ性に傾くと吸収効率が落ち、肥料の量を倍にすることが必要となる」

――「それはセメント系固化材を使用した場合、植物にどのような影響が考えられるか」

――「懸念される問題は二点あり、その一つは当然高いアルカリをもちたすことで、その条件下で植物が発芽・育成できるのか、という問題。実は、この問題は十五年程前から問題ではな

いとされてきた。二十年前に道路の法面を緑化する方法の一つとして、ON工法が開発されていた。これはセメント・コンクリートのなかに芝草の種を入れて吹き付けけるもので、当時はpHが10を超えて植物が発芽・育成するかと思っていたが、その後見事に育成した。今回、固化材の植生実験を依頼された時も、これまでの経験から十分植生は可能と思っていたが、予想二九mm以下であれば十分と

「たまたま臨海埋立地などでpHが8から9になる場合もあるが、ただ何年かすれば雨が降って脱酸して中性に近しいものとなる」

「pHの問題は植物にとって、養分や水分を吸収する能力とかかわりをもつ。中性に近いところでは吸収効率が良くなる。一方、酸性やアルカリ性に傾くと吸収効率が落ち、肥料の量を倍にすることが必要となる」



百三十日の転圧区の状態

「たまたま臨海埋立地などでpHが8から9になる場合もあるが、ただ何年かすれば雨が降って脱酸して中性に近しいものとなる」

「pHの問題は植物にとって、養分や水分を吸収する能力とかかわりをもつ。中性に近いところでは吸収効率が良くなる。一方、酸性やアルカリ性に傾くと吸収効率が落ち、肥料の量を倍にすることが必要となる」

――「それはセメント系固化材を使用した場合、植物にどのような影響が考えられるか」

――「懸念される問題は二点あり、その一つは当然高いアルカリをもちたすことで、その条件下で植物が発芽・育成できるのか、という問題。実は、この問題は十五年程前から問題ではな

いとされてきた。二十年前に道路の法面を緑化する方法の一つとして、ON工法が開発されていた。これはセメント・コンクリートのなかに芝草の種を入れて吹き付けけるもので、当時はpHが10を超えて植物が発芽・育成するかと思っていたが、その後見事に育成した。今回、固化材の植生実験を依頼された時も、これまでの経験から十分植生は可能と思っていたが、予想二九mm以下であれば十分と

— 69 —

固化処理面への植生

泥吹き工法が有効

セメント協会はこのほど、平成八年度に行われた「セメント系固化材を用いた盛土斜面における植生実験」の追跡調査を実施した。

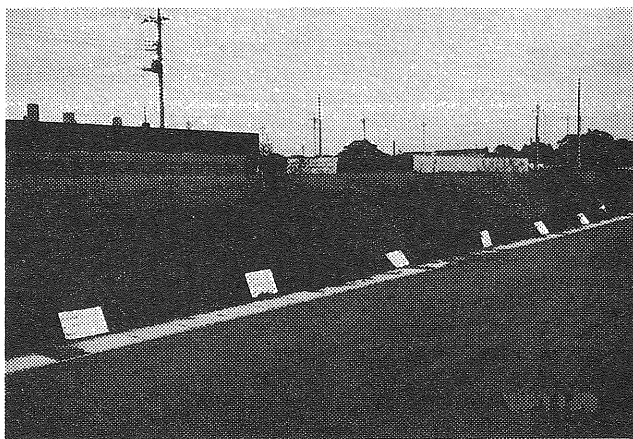
この研究は、セメント系固化材を用いて処理された盛土は、固化材の含有量が多くなるほど硬度とアルカリ性が強くなり、植生基盤としてはかなり劣悪な条件となることが予想されるため、そういった盛り土面での保護緑化の可能性を探るためにスタートしたもの。このような土壌条件下における緑化植物の生育可能性について検討するために当初、ポット実験レベルで調査を行い、平成六、七年度、そこで得られた成果を

もとに、実験場の盛土斜面（千葉県我孫子市）で植生実験を行った。

播種は発芽を助けるため泥吹き工法とした。また発芽後、生育評価（月一回、草丈と根元径を調査）を行った。

その結果、固化材の添加量が多いほど生育が抑制されるものの、時間の経過と共に植物の伸長成長が確認された。

「抑制された生育というのは決してマイナスではなく、修景効果は十分にある。



植生現場

むしろ過繁茂を抑えた省管理型の緑化という見方もある。

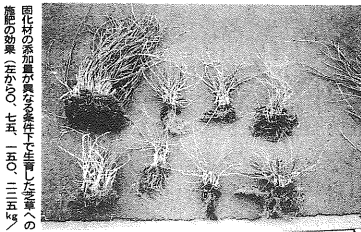
さる。本実験から初期生育の段階では問題はなく、今後の緑化の永続性が課題である（飯島健太郎東京農業大学農学部造園学科助手）。八年度の実験終了時に掘り起こした時（播種から九か月）にトールフェスク・コモンは根が無添加の物で約10cmの深さに伸びていたが、固化材を七十五kg/m²に添加したものは七cm、百五十一・二百二十五kg/m²では

三cm（泥吹き層のみ）の厚さに根が分布していた。イチハギでは直根（発芽時に最初に出土した根）が、無添加のものは垂直に六十cm、添加量七十五kg/m²では七cmの層に、百五十一・二百二十五kg/m²では三cm（泥吹き層のみ）の層に根が水平方向に伸びており根の形状に特徴的な変化が認められた。

「ポット実験の段階から見てみると、添加量五十・百kg/m²の間に根が侵入できるかどうかの臨界点があるように感じる」（同）。追跡調査では、八年度の実験終了以後、播種から十七か月の調査を行ったが、枯損等の被害は見られなかった。

なお、追跡調査の三か月前（八月）にトールフェスク・コモンの各試験区の左半分は施肥（N:P:K=六・四・三）を行ったところ、肥料を撒かないものにくらべて茎葉部の生育が良かった。しかしバックホウを使って盛り土斜面を掘り起こし、根の状態を観察した結果、根の伸長に対する施肥の効果は見られなかった。

平成9年12月18日 コンクリート工業新聞より抜粋



固化処理土への緑化の可能性に関する実験の成果

セメント安定処理土の緑化は、土木建設現場の環境対策として、近年盛んに行われている。セメント安定処理土の緑化は、土壌の改良、水質の浄化、大気汚染の防止、騒音の低減、景観の向上など、多くの効果がある。しかし、セメント安定処理土の緑化には、いくつかの問題がある。例えば、セメント安定処理土の透水性が低いこと、セメント安定処理土のpHが高すぎること、セメント安定処理土の栄養分が少ないことなどである。本実験では、セメント安定処理土の緑化の可能性を調べるために、セメント安定処理土に異なる量のセメントを添加し、その後の緑化の状況を確認した。

本実験では、セメント安定処理土に異なる量のセメントを添加し、その後の緑化の状況を確認した。実験の結果、セメント安定処理土にセメントを添加すると、緑化の状況が改善された。特に、セメント安定処理土にセメントを添加すると、土壌の透水性が向上し、pHが低下し、栄養分が増加した。これらの結果から、セメント安定処理土の緑化には、セメントを添加することが有効であることがわかった。

緑化の可能性十分 施肥で茎葉の伸長も

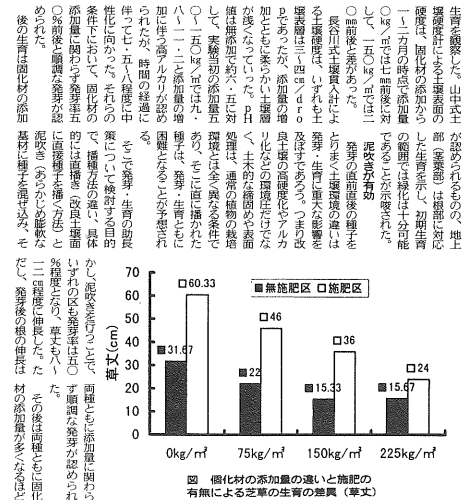


図 3 固化処理土のセメント添加量と施肥の有無による茎葉の伸長の差異 (単位: cm)

本実験の結果、セメント安定処理土にセメントを添加すると、緑化の状況が改善された。特に、セメント安定処理土にセメントを添加すると、土壌の透水性が向上し、pHが低下し、栄養分が増加した。これらの結果から、セメント安定処理土の緑化には、セメントを添加することが有効であることがわかった。

土質安定処理特集

平成10年3月30日 セメント新聞より抜粋

ISBN4-88175-059-3 C3358 ¥952E

セメント系固化材による固化処理土への緑化に関する研究 (1998年 5 月)

定価1,000円(本体952円) 送料実費

1998年 6 月 発刊

2003年 9 月 2 版

編 集 社団法人 セ メ ン ト 協 会

監 修 東京農業大学地域環境科学部造園科学科

教 授 近 藤 三 雄

助 手 飯 島 健 太 郎

印 刷 所 有限会社 プ リ ン ト ニ ュ ー ラ イ フ

発 行 所 社団法人 セ メ ン ト 協 会

〒104-0032 東京都中央区八丁堀4-5-4

TEL 03-3523-2701

FAX 03-3523-2700

