

在来種植生を用いた堤防法面緑化過程 に関する研究

矢部 浩規¹・丸山 政浩²・林田 寿文³・数馬田 貢⁴

^{1,3,4}正会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3)
E-mail: yabe-h22aa@ceri.go.jp

²非会員 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1-3)
E-mail: maruyama-m22ab@ceri.go.jp

本研究は在来種植生を用いた河川堤防法面緑化システムの構築を目的としている。石狩川水系千歳川を対象にし、既存堤防法面の植生状況を参考に試験施工計画を立案、実施した。将来的に安定した群落を形成する主力種と緑化後の早期被覆を可能とする混播試験種を選定し、自然侵入種を含めて生育状況を比較、検討した。植栽後1年を経過した苗植栽による主力種は各種とも順調に生長しており、植生シート区は腐植酸種子吹付区より生育条件が好ましいと考えられ、植栽種によっては被度等で優位な傾向がみられた。植栽後1年経過すると主力種と混播試験種を合わせた相対被度は半数を超え自然侵入種の生長を抑制した。混播試験種による早期被覆は、植栽1か月後の調査結果から植被率の相対被度は約20%、植栽2か月後には約30～40%を占めた。

Key Words : river embankment slope, native vegetation, greening process

1. はじめに

北海道では、河川堤防法面を早期に被覆可能な品種として、寒冷気候においても活着しやすく生長も速いケンタッキーブルーグラスやクリーピングレッドフェスク等がこれまで導入されてきた。一方、近年では、除草コスト等維持管理費の抑制や、生物多様性に配慮した緑化手法¹⁾が求められている。本研究は、在来種を用いた適切な植生施工及び維持管理方法を明らかにすることを目的に、現地植生状況等から試験施工計画を立案し、平成23年6月より千歳川堤防法面（側帯）において実施している。試験は、将来的に安定した群落を形成する主力種、緑化後の早期被覆を可能とする混播試験種を選定の後、腐植酸種子吹付、植生シート、苗植栽の各工法と、各植栽種を組み合わせ実施し、植栽直後から約1年経過した生育状況を比較、検討した。

2. 試験施工の目的と施工方法

2.1 試験箇所

試験は、現在改修工事を実施中の恵庭市東部の千歳川左岸堤防の側帯（KP1/30）で実施した。法面は4割勾配、南西向きで、周辺は畑地が広がっている。

2.2 植栽種を選定

植栽種は、堤防法面に長期間安定的な植生群落を形成する在来種主力試験種（以下、主力種）と、緑化後、早期に法面を被覆する在来種混播試験種（以下、混播試験種）に分けて選定した（表-1）。主力種としてイネ科のヨシ、オギ、カヤツリグサ科のビロードスゲを選定した。この3種は、平成22年に千歳川で実施した植生調査結果において、緑化導入された草本との競合を経ても優占群落を形成していた在来種であった。ヨシについては、石狩川篠路築堤における植栽試験の調査結果²⁾でも、優占的な群落を形成したことが報告されている。なお、主力種のうちオギは苗が入手できなかったことから、千歳川植生現地調査で生育が確認された種であり、オギと同じイネ科のヤマアワ苗を代替とした。

混播試験種としては、千歳川で生育が確認された種のうち、種子吹付による法面の早期緑化に事例のあるオオヨモギ、石狩川篠路築堤の植栽試験で吹付後の初期生育が良好であったエゾヌカバ、荒地や攪乱環境を好む1年草であるオオイヌタデを選定した。これら混播試験種は、いずれも千歳川堤防で確認された群落はパッチ状に限定され、単一種による大群落は確認されていない。このことから、主力種等他種との競合面で劣り徐々に衰退すると想定した。

2.3 各試験区の設定

図-1に各試験区の施工方法, 配置を示している。試験区(法面幅 5m×法面斜面長 8m, 面積 40m²)は8箇所設定した。また, 植栽を実施しない対照区(5m×8m, 40m²)を5箇所設定し, 植被率等各植栽種の生長の違いを各試験区, 対照区と比較, 検討した。以下に各試験区の目的をまとめる。

試験区(1)と(2)は, 主力種(3種)の混合種子の腐植酸吹付, 種子を挟み込んだ植生シート(ワラ芝)の試験区である。主力種の種子による導入事例はみあたらず, 植生シートによる工法の改善効果を検討する。

試験区(3)～(8)は, 主力種(各試験区に1種, ヨシ苗植栽試験区(3)と(6), ヤマアワ苗植栽試験区(4)と(7), ビロードスグ苗植栽試験区(5)と(8))をビニールポット苗植栽する。苗植栽による効果を検討する。

試験区(3)～(5)は, 試験区全体に混播試験種(3種)の混合種子を混ぜた腐植酸種子吹付, 試験区(6)～(8)は, 混播試験種をシートのなかに挟み込んだ植生シート(ワラ芝)を併用する。腐植酸種子吹付と植生シートの各工法を比較, 検討する。

2.4 試験施工, 調査方法

主力種, 混播試験種の播種量は, 腐植酸種子吹付, 植生シートの工法別に設定した。植生シートは, 植栽時に植生基盤土壌や肥料分を用いないことから, 腐植酸種子吹付の約5割を発生期待本数として実施例から推定し, m²あたり主力種は1100本(ヨシ, オギ各500本, ビロードスグ100本), 混播試験種は550本(オオヨモギ200本, エゾヌカバ250本, オオイヌタデ100本)になるように施工した。期待本数は, 切土法面工の指針³⁾, 導入種が高茎となる草本が多いこと等を考慮し, 発芽後過密にならないよう想定し設定した。表-2には, 腐植酸種子吹付材料や苗植栽の規格, 数量を示している。腐植酸種子吹付材料は, 今回の試験地と同じ土砂により盛土された千歳川築堤での緑化工資料に基づいて設定した。

図-2に試験区(3)～(8)の主力種を苗植栽した場合の配置等を示している。苗位置にビニールポット苗を各1株植栽し, 苗と苗は1.5mの間隔とした。試験区全体は腐植酸種子吹付または植生シートとなる。植栽種の生長状況は, 各試験区に上方区と下方区の2箇所設定したモニタリング枠内(2m×2m)で調査することとした。

	5m												
8m	対照区(1)	試験区(1) ヨシ、オギ、 ビロードスグ 主力種3種 種子吹付	試験区(2) ヨシ、オギ、 ビロードスグ 主力種3種 植生シート	対照区(2)	試験区(3) ヨシ 苗植栽 + 混播試験種3種 種子吹付	試験区(4) ヤマアワ 苗植栽 + 混播試験種3種 種子吹付	対照区(3)	試験区(5) ビロードスグ 苗植栽 + 混播試験種3種 種子吹付	試験区(6) ヨシ 苗植栽 + 混播試験種3種 植生シート	対照区(4)	試験区(7) ヤマアワ 苗植栽 + 混播試験種3種 植生シート	試験区(8) ビロードスグ 苗植栽 + 混播試験種3種 植生シート	対照区(5)

図-1 各試験区の施工方法, 配置

表-1 試験植栽種

科名	種名	生育形	試験種別	導入理由
イネ科	ヨシ	多年生	地下茎繁殖	主力種 ・千歳川堤防および築路築堤で群生を確認 ・地下茎繁殖力が高く、安定した群落を形成する ・石狩川築路築堤で根茎強度が高いことを確認
イネ科	オギ	多年生	地下茎繁殖	主力種 ・千歳川堤防で群生を確認(対払い実施箇所で結果確認) ・地下茎繁殖力が高く、安定した群落を形成する
カヤツリグサ科	ビロードスグ	多年生	地下茎繁殖	主力種 ・千歳川堤防で群生を確認 ・地下茎繁殖力が高く、安定した群落を形成する ・従来型堤防緑化種と生育形態が近く違和感が少ない
イネ科	ヤマアワ	多年生	地下茎繁殖	主力種 ・地下茎繁殖力が高く、安定した群落を形成する ・千歳川堤防で生育確認
キク科	オオヨモギ	多年生	地下茎繁殖	混播試験種 ・種子吹付工による導入成功事例あり ・千歳川堤防で生育確認
イネ科	エゾヌカバ	多年生	地下茎繁殖	混播試験種 ・千歳川堤防で生育確認 ・石狩川築路地区試験で吹付導入後の初期生育が良いことを確認
タデ科	オオイヌタデ	1年生	種子繁殖	混播試験種 ・千歳川堤防でパッチ状群生を確認

表-2 腐植酸吹付材料, 苗植栽規格・数量

	名称	規格等	単位	数量	適用
腐植酸種子吹付材	高度化成肥料	15-15-15	g/m ²	160	試験区(1), (3), (4), (5)
	燐酸肥料	燐成燐肥	g/m ²	80	試験区(1), (3), (4), (5)
	炭素材	ファイバー	g/m ²	200	試験区(1), (3), (4), (5)
	土壌改良材(A)	有機質含有量30%以上	g/m ²	120	試験区(1), (3), (4), (5)
	土壌改良材(B)	ピートモス(A)級	L/m ²	2	試験区(1), (3), (4), (5)
	接合剤	高分子系樹脂(粉末)	g/m ²	2	試験区(1), (3), (4), (5)
苗植栽-主力種 (ビニールポット苗)	ヨシ	φ10.5, 一年以上生育済	pot/試験区	15	試験区(3), (6), 15ポット/試験区
	ヤマアワ	φ10.5, 一年以上生育済	pot/試験区	15	試験区(4), (7), 15ポット/試験区
	ビロードスグ	φ10.5, 一年以上生育済	pot/試験区	15	試験区(5), (8), 15ポット/試験区

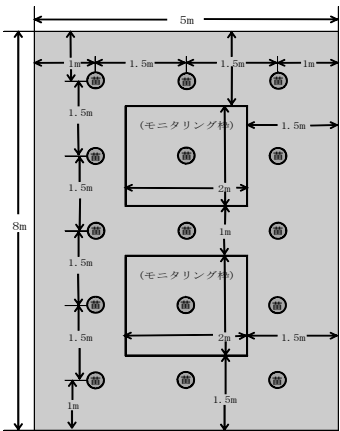


図-2 苗植栽詳細配置図

試験植栽の施工は平成23年6月21～22日に実施し, 試験区内の根茎は試験結果に影響する可能性が大きいためできる限りかき起こし時に除去した。

3 土質条件, 気象状況

3.1 気象条件

恵庭島松観測所における気象庁アメダスデータから 2011 年 6～9 月の日降水量 (mm / 日) の変化を図-3 に示す。また、降水量の他、日平均気温、日照時間の月別平均値について 2001 年～2010 年の過去 10 カ年と 2011 年 6～9 月、2012 年 6～7 月の比較を表-3 に示す。植栽を実施した 2011 年 6 月の日降水量は少なかったが、日平均気温、日照時間は過去 10 カ年平均値とほぼ同じであった。7 月になると日降水量が多くなり、日平均気温も高く日照時間はかなり長かった。8 月の日照時間は 7 月同様かなり長く、日平均気温もやや高かったが、降水量は少なかった。9 月の降水量はかなり多く、日平均気温もやや高いが、日照時間は少なかった。2012 年は、6、7 月とも降水量が少なく日照時間が多かった。特に 7 月は日平均気温が高く、日照時間が長くなっている。

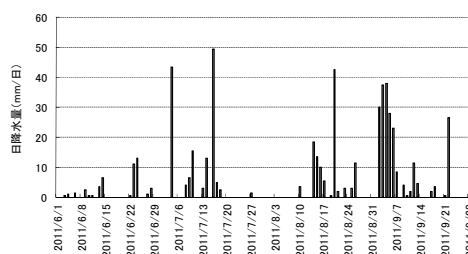


図-3 日降水量 (2011 年 6～9 月)

表-3 日降水量・日平均気温・日照時間

		6月	7月	8月	9月
日降水量 (mm/日)	月別合計値(2011年)	45	144	113.5	229
	月別合計値(2012年)	42	53		
	平均値±標準偏差(2001～2010年)	84.6±48.7	115.7±49.1	127.7±33.0	131.6±61.9
日平均気温 (℃)	月別日平均値(2011年)	15.3	20	21.5	17.8
	月別日平均値(2012年)	14.9	19.8		
	平均値±標準偏差(2001～2010年)	15.5±1.0	18.5±1.2	20.5±1.5	16.6±0.8
日照時間 (h/日)	月別合計値(2011年)	146.9	158.7	182.1	105.7
	月別合計値(2012年)	154	172.2		
	平均値±標準偏差(2001～2010年)	148.4±29.9	109.9±33.5	135.0±30.4	154.6±18.8

3.2 土質条件

試験施工を実施した側帯は、千歳川の浚渫土等を使用している。試験開始時(2011 年 6 月)の各試験区の土質条件として、T-N、T-P、TOC、含水率、土壤硬度を計測した。対照区と試験区(2)、(6)～(8)の植生シート区は、含水率を除いてほぼ同等の値を示し T-N は 0.8～0.9mg/g、T-P は 0.3～0.4 mg/g、TOC は 7 mg/g であった。含水率は試験開始時、対照区 6.3%、植生シート区 10.3%と植生シート区が高い。それに対して試験区(1)、(3)～(5)の腐植酸種子吹付区は、吹付に混合される肥料によって T-N は 2.4mg/g、T-P は 1.5mg/g、TOC は 11 mg/g、含水率は 17.6%と、対照区及び植生シート区との比較では何れも高い。土壤硬度は、試験地かき起こし、転圧後の試験区設定前に山中式土壤硬度計を用いて 10 箇所計測した。全箇所植物の根が問題なく土中に伸長できる最適範囲(10～23mm)であった。

試験開始後は、土壤硬度および土壌水分(土の単位体積あたりに含まれる水の体積(m³/m³)をセンサーで計測)を生育調査時に測定した。調査は、7 月 25 日(調査前 1 週間降雨無し)、8 月 26 日(降水が続き、当日一時雨)、9 月 22 日(前日、当日雨)の計 3 回実施した。各区 6 地点計測の平均値から、7 月は、対照区、腐植酸種子吹付区で土壌水分が低く、植生シートで高い。9 月になるとその違いは小さくなったが植生シートで依然高い傾向にあった。また、いずれの区も 8 月>9 月>7 月の順で土壌水分が多く、降雨の影響を受けている。

土壤硬度について、硬度指数(各区 6 地点計測の平均値, mm)から 7 月は 12～16mm、8 月は 7～10mm、9 月は 9～12mm 程度と、対照区の一部で 10mm をやや下回っている他は植物の生育には特に問題はなかった。

4. 生育状況

4.1 生育調査方法

試験植栽実施時に設定したモニタリング枠(2 m×2 m、各試験区および各対照区に 2 枠、計 26 枠)において、試験後の発芽、生育状況等を調査した。調査は、試験植栽実施 1 ヶ月後の 2011 年 7 月 25 日、その後、8 月 26 日、9 月 22 日、冬期間を経て 2012 年 6 月 25 日、8 月 6 日と計 5 回実施した。

腐植酸種子吹付や植生シート、苗植栽による導入植栽種は、種別に被度、最大草丈などを調査した。植栽種以外の自然侵入種についても同様に種別の被度、最大草丈を調査した。なお、種の同定が困難な植物については、可能な限り科ごとに整理した。

被度(%)は、各植物種が方形区内を覆う割合を示す。本試験では、20cm×20cm を 1 単位として各植物種が覆っている植物体の総量を目視で計測し、方形区全体(2m×2m)に占める比率を求めている。また、方形区全体の植被率についても調査した。植被率は、植生全体が方形区を覆う割合を示し、方形区全体(2m×2m)のうちの裸地等以外の植生比率を表す。

4.2 調査結果

(1) 植被率

各区の 2011 年 7 月～2012 年 8 月にかけての全体植被率の変化を図-4、腐植酸種子吹付区、植生シート区、対照区に分類しその平均値の変化を図-5 に示した。

植栽 1 か月後の 7 月の植被率は、苗植栽と混播試験種を組み合わせた混播試験種の試験区(3)～(8)では

いずれも40%を超え、平均で約46%であった。工法別では、腐植酸種子吹付の試験区（3），（5）で若干大きな値を示した。試験区（1），（2）の主力種混播でも植被率は約40%であった。これに対して、対照区では、平均約25%，最大でも30%と試験区に比べ10%以上低い。

8月の植被率は、試験区（2）と（6）で約70%と低い他は試験区全てで高い。工法別では、腐植酸種子吹付の試験区が植生シートよりも大きい。その差は7月に比べて小さくなっている。対照区では、65～88%とばらつきがあり、平均では約74%であった。9月の植被率は、試験区では全て90%以上、対照区でも全ての区で80%以上となった。

2012年6月になると植生シート区の植被率が平均約70%と腐植酸種子吹付区より20%程度、苗植栽の腐植酸種子吹付区より10%程度高く、1年前の植栽直後の同時期に比較して植被率の大小関係は逆転した。また、対照区と試験区の差は1年経過すると明瞭に現れている。以上の傾向は8月も同様であった。

（2）植生種別の被度

各調査区の植栽（導入）種、自然侵入種と全体植被率との関係を把握するため、相対被度で比較を行った。植栽種は混播試験種と主力種に区別し、モニタリング枠上方区と下方区を図-6、7に月別に示している。なお、相対被度は次式で算出した。

$$p_i = w \cdot \left(p_i / \sum_{i=1}^n p_i \right) \quad (1)$$

p_i ：各植生種の相対被度

w ：（方形区全体の）植被率

p_i ：各植生種の被度

種子を混播した試験区（1），（2）における主力種による相対被度は2012年6月まで8%程度以下で自然侵入種の割合が大変高い。しかし、下方区の8月調査では植

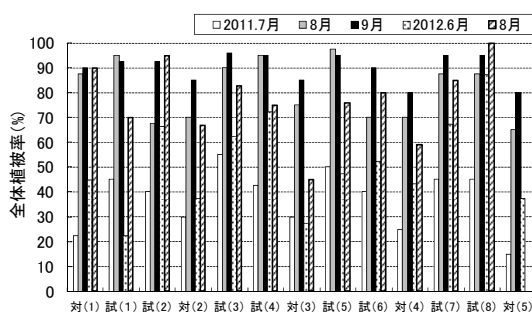


図-4 全体植被率（2011年7月～2012年8月）

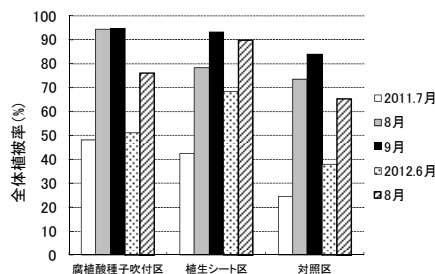


図-5 試験区別全体植被率

生シート区の試験区（2）で20%強と増加した。

混播試験種を導入した試験区（3）～（8）では、植栽種の相対被度は植栽1月後の7月で概ね20%以上と全体植被率の半分程度を占め、8月には30～40%に達した。自然侵入種の割合は7、8月では腐植酸種子吹付区で高く、植生シート区で低い傾向にあった。9月になると、植栽種の相対被度は植生シートで平均30%と若干減少するが、腐植酸種子吹付区では平均16%と大きく減少した。一方で自然侵入種の割合が増加している。

冬期間を経た2012年6月になると混播試験種と主力種を合わせた植栽種の割合はほとんど半分以上となり、8割以上を占める試験区が現れ、自然侵入種の比率は減少した。主力種の相対被度の割合も徐々に増加しており、ヨシ苗植栽試験区等では8月に大幅に増加している。

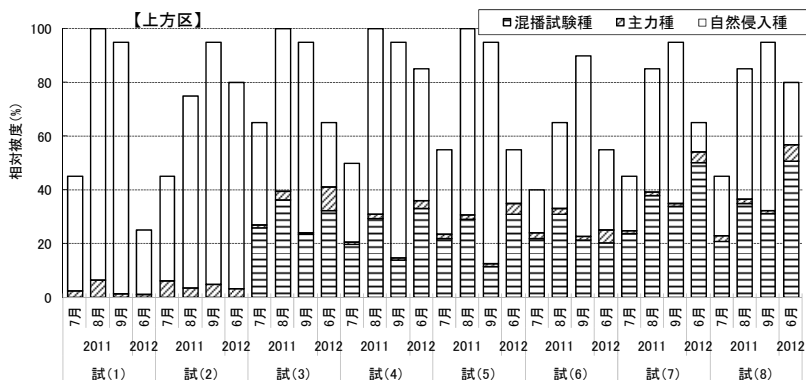


図-6 相対被度-上方区（2011年7月～2012年6月）

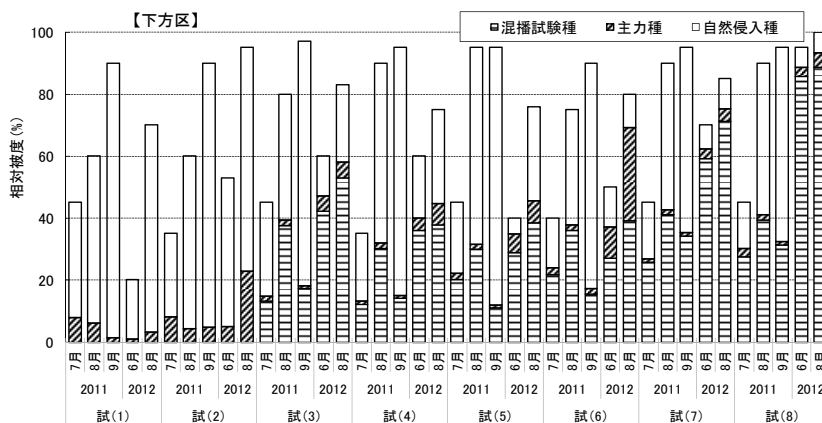


図-7 相対被度-下方区 (2011年7月～2012年8月)

(3) 主力種別の生長

主力種の植栽種別の生長(被度, 最大草丈)について, 図-8に種子混播による植栽, 図-9に苗植栽を示した。

ヨシ, オギの最大草丈は腐植酸種子吹付の場合, 2011年9月まで生長は漸増であったが2012年6, 8月において生長が著しい。なお, ビロードスゲの発芽は2012年6月に初めて確認された。ヨシの被度は, 植栽初期より2年目の被度が低い傾向にあったが, 植生シート区で8月に急激に増加した。オギの被度は植生シート区が腐植酸種子吹付区よりやや大きい。

主力種を苗植栽する試験区では, ヨシとヤマアワは最大草丈の生長変化がほぼ同じであるのに対し, ビロードスゲは約50cm未満とほぼ一定である。2012年6月の被度は全ての主力種で2011年の最大被度を上回った。被度はほとんど10%未満であるが, ヨシの被度が2012年8月に植生シート区で30%と大幅に増加した。ヤマアワ, ビロードスゲは漸増傾向にある。植生シート区と腐植酸種子吹付区での違いについてその傾向は明確ではない。

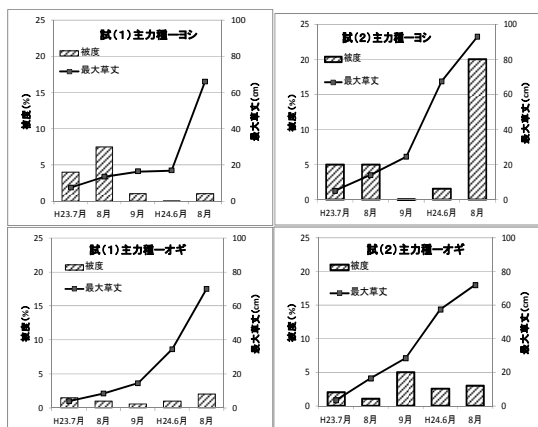


図-8 主力種-種子混播植栽の生長

5 おわりに

植栽1か月後の7月の調査結果より, 混播試験種は20%の相対被度を占めていた。試験区全体の植被率は腐植酸種子吹付試験区で40～50%と植生シート試験区の40%よりもやや大きい。植生シート試験区は, ワラ芝で覆われているためそれを考慮すると法面には裸地が無い状況にある。それに対し対照区では15～30%と低く, 植栽による被覆の違いは明らかであった。主力種の種子混播のみでは植栽後の早期被覆は難しく, 被度, 最大草丈から生長程度は苗植栽に劣る。ただし, 植生シート使用による自然侵入の少なさ, 多種からの被圧の受けづらさなどから生長に適した環境を創出できる可能性がある。

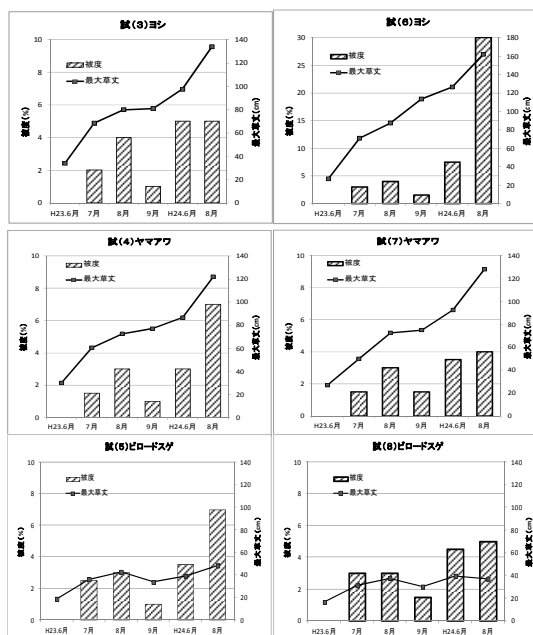


図-9 主力種-苗植栽の生長

主力種を苗植栽した場合、被度、最大草丈から3種とも順調に苗が活着、生長していると予想される。種子混播による方法を用いた場合のような被圧を受けなかったことで、根茎に十分に養分を蓄えた状態で越冬し、地下茎により周囲に生育を広げたと考えられる。

工法別の比較では、植生シート区の全体植被率は施工後1年が経過した2012年になると腐植酸種子吹付区より明らかに高くなった。土壌硬度では優位な差はみられていないが、含水率は植生シート区で高く、腐植酸種子吹付区、対照区の順となった。植生シートは、資材のマルチング効果により含水率を高めている。また、植生シート区の全体植被率が2012年6月に腐植酸種子吹付区より高くなったことも、その後、緑陰により土壌表面の蒸発を抑える好循環が生じ易くなったと考えられる。

また、今回の調査から、苗植栽からの地下茎繁殖は法面の上下方向にはあまりみられず、水平方向に多い傾向にあった。今回は苗の配置を直交型としたが、千鳥配置とすることでより効率的に地下茎繁殖によって被覆できる可能性がある。引き続き、苗植栽株からの地下茎による生育拡大の状況や、植生遷移状況を把握していく。

次に、植栽（導入）種別の課題をまとめる。ヨシは草丈が150cmを超えるほど生長力が高い試験区もあり、草丈の除草等による維持管理方法が課題といえる。

ビロードスゲは、草丈も低く生育も順調である。今後の生長如何では最も有力な導入種である。しかし、草丈が低いため高茎草本の繁茂を抑制しきれていない面があることと、ビロードスゲ自身の生長を促進させることから適切な除草等維持管理方法を明らかにしなければならない。種子による導入方法では、1年を経過した現時点では発芽、生育本数が少なく、種子による導入方法は難しい。

ヤマアワは生育は順調ではあるが、ヨシと同様に草丈が高くなる課題がある。また、ヨシ、ビロードスゲよりやや乾燥した場所を好む性質があるため、土壌水分との関係性を検討していく予定である。

今後、腐植酸種子吹付、植生シート、苗植栽の各工法と、各植栽種の生長状況や他種との遷移状況との関係を中心に引き続き検討していく。さらに除草による影響、維持管理方法を明らかにするためのモニタリングを行い、積雪寒冷地における在来種による堤防植生導入方法の確立を目指す。

謝辞：石狩川篠路地区における既存調査の状況や千歳川現地試験施工の実施にあたって、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部札幌河川事務所、千歳川河川事務所に指導、調整して頂いた。また、（株）エコニクス田口敦史氏、（株）北開水工コンサルタント田崎冬記氏から植栽方法等貴重な提案、助言を得ている。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 松江正彦, 生物多様性ととり面緑化, ベース設計資料No150. 土木編, pp.49-51, 建設工業調査会, 2011
- 2) 北海道開発局石狩川開発建設部：石狩川在来種植生試験モニタリング調査業務報告書, 2007
- 3) 道路土工一切土工・斜面安定工指針（平成21年度版）, 社団法人日本道路協会, 2009
- 4) 矢部浩規, 林田寿文, 数馬田貢, 桃枝英幸：堤防法面への在来種植生導入に関する調査, pp.30-37, 寒地土木研究所月報 No.708, 2012.

(2012.7.18 受付)

GREENING PROCESS OF EMBANKMENT SLOPE PLANTED WITH NATIVE VEGETATION

Hiroki YABE, Masahiro MARUYAMA, Kazufumi HAYASHIDA and Mitsugu KAZUMATA

The purpose of this study was to clarify the growth conditions of native species based on a test construction in order to identify more appropriate coverage and maintenance greening methods in river embankment slopes using such species.

The test was conducted from June 2011 on an embankment on the Chitose River. *Phragmites australis*, *Miscanthus sacchariflorus*, *Carex miyabei* and *Calamagrostis epigeios* were selected as main species to form stable communities in the future. The test construction was conducted using a combination of the humic acid spraying, vegetation sheet and seedling planting methods. Few germination of *Carex miyabei* was observed, and the coverage ratios of *Phragmites australis* and *Miscanthus sacchariflorus* were quite low in the form of seeds. Meanwhile, seedlings of all three main species grew steadily after being planted, and their tillers also developed constantly.