レポート REPORT

道路整備における保全対策技術～海浜植生の復元技術事例

栗原 淳^{1)*}・今井 久子¹⁾・出縄 二郎¹⁾・櫻井 日出伸^{2)**}

1) 株式会社 環境アセスメントセンター 〒420-0047 静岡県静岡医薬区清閑町 13-12

2) 国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所 〒510-0064 三重県四日市市新正三丁目 7 番 27 号

Atsushi KUWABARA^{1)*}, Hisako IMAI¹⁾, Jirou DENAWA¹⁾, Hidenobu SAKURAI²⁾: Technology for conservation measures in road construction: Examples of restoration technology for beach vegetation. *Ecol. Civil Eng.*

Ecology and
Civil Engineering
応用生態工学

1) Co., Ltd. Environmental Assessment Center, 13-12 Seikancho, Aoi-ku, Shizuoka, Shizuoka 420-0047, Japan

2) Yokkaichi Port Office, Chubu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 3-7-27 Shinsho, Yokkaichi City, Mie 510-0064, Japan

はじめに

三重県の海岸線は1,110 kmで、全国で7番目とされる。このうち、600 km程度が自然海岸、その100 km程度が砂浜海岸である。また、三重県の伊勢湾海区には、800 ha程度の干潟が現存している。開発などによってこれらの干潟や砂浜が消滅しつつある三重県の北勢地域（伊勢湾北部）では、高松海岸は半自然海岸（海岸（汀線）の一部に人工構築物があるが、潮間帯においては自然の状態を保持している海岸）（環境省 1980；三重県 2015）として残る貴重な海岸である。このため、三重県や周辺自治体では、高松海岸を環境や景観の保全を推進する場所として位置づけている。また、砂浜や干潟を代表する植物だけでなく、自然度の高い河口や河岸の砂地で見られるナギサツルギアブ（*Acrosathe stylata*）の生息地、三重県の鳥として親しまれているシロチドリ（*Charadrius alexandrinus*）の周年生息地、ズグロカモメやシギ・チドリ類の越冬地や渡り鳥の中継点となっている（三重県 2015）。このため、三重レッドデータブック

2015（三重県 2015）では、高松海岸は様々な生物の重要な生息場所として、「ホットスポットみえ（希少野生動植物主要生息生育地）」に位置づけられている。

四日市港臨港道路（霞4号幹線）は、四日市港霞ヶ浦南ふ頭から町道川越中央線（臨海橋）を結ぶ約4.1 kmの臨港道路で、2018年4月1日開通した。この道路は、1) 生活・産業を支える四日市港の発展として、増大する港湾関連交通を円滑に高速交通網に連絡することにより、定時性・即時性が確保され、港湾貨物の輸送コスト削減や、港湾サービス水準の向上を図ること、2) 周辺道路への負荷の軽減として、増大することが予測される港湾関連交通を、周辺道路（国道23号）へ環境負荷をかけることなく背後地へと結ぶこと、3) 霞大橋一本のみで結ばれた出島方式の霞ヶ浦ふ頭に対し、災害時などの緊急物資輸送や霞ヶ浦ふ頭内で働く労働者などの安心・安全確保といった、災害時のリダンダンシー（代替機能）の確保に期待された道路である（臨港道路霞4号幹線調査検討委員会 2003a；林・栗原 2017）。

この「霞4号幹線」は高松海岸の一部を通過するため、

2021年2月25日受付、2021年6月16日受理
早期公開（J-STAGE）

J-STAGE Advance published

doi: <https://doi.org/10.3825/ece.21-00003>

*e-mail: kuwabara@eac-net.co.jp

**現所属：国土交通省 中部地方整備局 清水港湾事務所 御前崎港事務所 〒437-1623 静岡県御前崎市港 6170

**Present Address: Shimizu Port Office, Omaezaki Port Office, Chubu Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 6170, Minato, Omaezaki City, Shizuoka 437-1623, Japan

その整備にあたっては、「海岸や干潟の多様な機能の保全を目指す」ことが、臨港道路霞4号幹線調査検討委員会（主管：四日市港管理組合）による「提言と付帯意見及び道路ガイドプラン」（H15年3月）（臨港道路霞4号幹線調査検討委員会 http://www.yokkaichi-port.or.jp/kasumi_r4/index.html, 2021年2月23日確認）において示されている。この提言に基づいて、高松海岸や干潟の多様な機能の保全を目指し、重要な動植物の移植や遮光板の設置など、各種の環境保全対策が実施されてきた。「臨港道路霞4号幹線調査検討委員会」閉会后、これらの環境保全対策の結果に基づいて、先述した付帯意見との整合を図りながら霞4号幹線事業の実施に反映できるよう、助言・指導をする「臨港道路霞4号幹線事業実施に伴う懇談会」（主管：国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所）が設置されている（2017年12月で閉会）。

本報告の海浜植生の復元を検討するにあたって、懇談会において有識者や関係機関などから助言・指導をいただきながら、検討を進めてきた。海岸部に成立する植生を対象に復元技術には、これまでの現場実績の蓄積によって、その手法が確立されている海岸林の造林技術（森林総合研究所 2015 ほか）や、人工的に海浜部を創出した事例（岡 2010）、個々の海浜性植物を対象とした植生の復元試験を実施した事例（例えば、宮本・西川

1999；清水 2016；野口 2009）がある。しかし、本報告のような、道路整備に伴い撤去した範囲（約1 ha）を整備し、残存する海浜植生との連続性をなどを考慮した配植を検討したうえで、現地調達した海浜性植物を用いて海浜植生を復元する、という一連の工程を報告した事例は全国的にも少ない。本報告では、この海浜植生の復元技術事例の詳細について紹介する。

調査地の状況

海浜植生の復元は、三重県川越町の朝明川河口右岸側に形成された高松海岸のうち、四日市港臨港道路（霞4号幹線）の整備の際に撤去した約1 haの整備撤去範囲を対象に実施した（Fig. 1）。

高松海岸には、ハマヒルガオ（*Calystegia soldanella*）やコウボウシバ（*Carex pumila*）、コウボウムギ（*Carex kobomugi*）などの砂浜や干潟を代表する海浜性植物の優占する、東西400 m程度、奥行き100 m程度の海浜植生が成立している。主な海浜植生には、ハマヒルガオ群落、コウボウシバ群落、コウボウムギ群落、ケカモノハシ群落、ハマゴウ群落がある。このほか、草本植生ではナガミノオニシバ群落、ススキ群落、チガヤ群落、木本植生ではハリエンジュ群落やセンダン群落が成立している。

Fig. 1. Location of Takamatsu coast where restoration construction of beach vegetation was carried out.
海浜植生を復元した高松海岸の位置.

方 法

復元工事は、2016年の概略検討からはじまり、2017年の詳細検討を経て2018年8月に開始した（Fig. 2）。復元工事の期間は約3ヶ月間で、2019年1月に完了した。

概略検討

概略検討においては、海浜植生を構成する海浜性植物群落の成立条件を把握し、その結果から復元目標の設定や復元植生の配植の考え方（基本的な方針）を検討した。

海浜植生の成立条件

2016年8月、整備撤去範囲に海浜植生を復元する際の基本条件となる海浜植物の生育位置と高松海岸の地盤高との関係を把握するため、ライントランセクト調査を実施した。この調査では、地形横断測量（間接水準）による地形形状の計測とライン上の海浜性植物や主な内陸性植物の出現位置を記録し、種ごとの生育地盤高の特徴

を把握している。

計4測線を対象としたライントランセクト調査の結果、海浜性植物は地盤高の低い場所（汀線側）から高い場所（海岸堤防側）に向かって、アキノミチヤナギ（*Polygonum polyneuron*）→コウボウシバ→ハマヒルガオ→コウボウムギ→ケカモノハシ（*Ischaemum antheophoroides*）→ハマゴウ（*Vitex rotundifolia*）の順で出現していた。これらの植物の優占する海浜性植物群落の分布様式は、いわゆる「成帯構造（ゾーネーション）」と呼ばれるものであり、高松海岸においても、この「成帯構造」を観察することができた（Fig. 3）。ただし、汀線側から海岸堤防側に向かう場合は、水域→自然裸地→ハマヒルガオ→コウボウシバ→コウボウムギ→ケカモノハシ→ハマゴウとなるのに対し、海岸の東西にある河川やワンドから海岸堤防側に向かう場合は、水域→自然裸地→コウボウシバ→コウボウムギ→ケカモノハシ→ハマゴウとなり、

Fig. 2. Beach vegetation restoration construction process
海浜植生の復元工事の工程.

Fig. 3. Relationship between plants and ground height (T.P.m).
植物と地盤高 (T.P.m) の関係.

ハマヒルガオが欠落する。この違いは、比高が低く、土壌含水率の高い立地を好む（宮脇・奥田編 1990；早坂・藤原 2006；岡ほか 2007；楠瀬・石川 2014）が、波による攪乱への耐性が弱い（楠瀬・石川 2014）という、コウボウシバの特性を反映したものである。高松海岸において、成帯構造を踏まえた海浜植生の復元を検討する際には、このような種ごとの分布様式の違いを考慮しなければならない。

一方、内陸性植物は安定帯に出現する海浜性植物（ケカモノハシやハマゴウ）と同じかそれ以上の地盤高で出現していた（Fig. 3）。この結果から、内陸性植物が海浜性植物と同所的に生育可能な陸側の地盤高の高い場所（海岸堤防側）において、復元工事の際に内陸性植物が移植苗と混生して非意図的に植え付けられた場合、復元目標とする群落の成立に影響を及ぼす危険性のあることがわかった。この点は、復元工事の際の留意点として整理している。

海浜植生の復元目標の方針

ライントランセクト調査の結果をもとに、整備撤去範囲に復元する海浜植生の目標を、コウボウシバ群落、コウボウムギ群落、ケカモノハシ群落、ハマゴウ群落の4つの群落に設定した。高松海岸では、これらの群落は1種の海浜性植物が優占する場合と、複数の種が混生して成立している場合があった。このため、海浜植生を復元する際には、1種が優占種となる「純群落」と、優占種とそれ以外の構成種（＝準優占種）が混生する「複合群落」を復元群落の目標とする方針とした。

なお、高松海岸の主な海浜植生の一つであるハマヒルガオ群落は復元目標に設定しなかった。汀線側から海岸堤防側に向かう場合の成帯構造を考慮した場合、汀線から離れた海岸堤防側に位置する整備撤去範囲の復元目標として、最も汀線側に分布するハマヒルガオ群落を設定することは適切ではないと判断したためである。

海浜植生の配植の方針

整備撤去範囲に復元する海浜植生は、個々の海浜性植物群落の分布特性や高松海岸の景観的な観点からも、整備撤去範囲外に残る海浜植生との連続性を考慮しなければならない。このため、高松海岸で観察された成帯構造を踏まえ、整備撤去範囲で、汀線側の地盤高のやや低い放水路側および朝明川沿いの立地には、冠水状態に耐性のあるコウボウシバ群落、その背後（陸側）にはコウボウムギ群落、さらに陸側にケカモノハシ群落、汀線から最も離れた地盤高の高い海岸堤防側には、安定帯に成立するハマゴウ群落を配植するという基本的な配植方針を

定めた。

詳細検討

2016年に検討した概略検討を踏まえ、翌2017年に海浜植生の復元に必要な詳細な条件を検討した。

整備撤去範囲の区域区分の決定

概略検討段階までの海浜植生の復元の検討は、整備撤去範囲を対象にしたものである。しかし、詳細検討の段階で、海浜植生の復元範囲を整備撤去範囲の海側に隣接するハリエンジュ（*Robinia pseudoacacia*）やセンダン（*Melia azedarach* var. *subtripinnata*）などの優占する低木林も含めた（Fig. 4）。これは、ハリエンジュなどの低木林を整地することで、その背後地（陸側）に位置する整備撤去範囲が砂の移動、飛塩、風などの影響（攪乱）をより受けやすくなる環境、つまり海浜性植物の生育に適した環境に整備することを目的としたためである。同時に、ハリエンジュやセンダンの分布拡大とそれに伴う森林化が進む高松海岸において、海浜性植物を主要構成種とする自然草原が維持されるよう、海浜植生の“質”の低下を抑制するための措置でもあった。

海浜植生の復元は整備撤去範囲と一部範囲外を含む範囲となり、その面積は計9,805 m²となった（Fig. 5）。さらに、整備撤去範囲の地盤高、整備撤去範囲外の高松海岸の分布、ハリエンジュなどの低木林の除去後の状況を考慮し、計11の復元区域に区分した（Fig. 5）。なお、整備撤去範囲のうち、朝明川沿い（2,246 m²）の立地は河川区域内に位置しているため、自然裸地（干潟）と位置づけ、海浜植生の復元範囲には含めなかった。

復元する海浜性植物群落と優占種の構成パターンの決定

復元する海浜植生は、概略検討での海浜植生の復元目標（考え方）を踏まえ、コウボウシバ群落、コウボウムギ群落、ケカモノハシ群落、ハマゴウ群落の4つの海浜性植物群落とし、各群落の構成から6つの構成パターンを設定した（Table 1）。この構成パターンは、優占種1種を移植するパターン（以下、純群落）と、優占種とは別の海浜性植物1種以上を移植するパターン（以下、複合群落）である。このように同じ構成種であっても、優占種の異なるパターンを設定することは、高松海岸における海浜植生の多様性を維持する上で重要なことである。

配植の決定

海浜植生の復元範囲（9,805 m²）で区分した11区域に、前項で決定した海浜性植物群落の6つの構成パターンを配植した（Table 2, Fig. 6）。この配植では、はじめに純群落の配置を、復元区域の地盤高と地形形状を参考に決定した（Fig. 6, ①コウボウシバ群落, ⑤ハマゴウ群

Fig. 4. Image of devaluation of ground height at the place where shrub forest (*Robinia pseudoacacia*, *Melia azedarach* var. *subtripinnata*, etc.) was established
低木林（ハリエンジュ、センダン等）成立箇所の地盤高切り下げのイメージ。

復元区域	面積 m ²	復元区域	面積 m ²
1	308.18	7 7-1	380.13
2	710.86	7 7-2	757.80
3	2,390.35	小計	1,137.93
4	1,102.22	8	797.39
5	152.62	9	428.38
6*	722.18	10	862.85
*低木林成立箇所		11	1,191.90
		計	9,804.86

Fig. 5. Restoration range of beach vegetation, area division (1-11) and area.
海浜植生の復元範囲，区域区分（1～11）と面積。

Table 1. Vegetation restoration target Community composition of beach plants.
植生復元の目標群落と海浜性植物の構成.

	目標群落	優占種	構成種
1	コウボウシバ群落	コウボウシバ	なし
2	コウボウシバ群落	コウボウシバ	ケカモノハシ
3	コウボウムギ群落	コウボウムギ	ハマゴウもしくはケカモノハシ
4	ケカモノハシ群落	ケカモノハシ	コウボウムギもしくはコウボウシバ
5	ハマゴウ群落	ハマゴウ	なし
6	ハマゴウ群落	ハマゴウ	コウボウシバ

落). 次に, 復元範囲外に残る海浜植生と純群落の位置関係から, 複合群落の配置を決定した (Fig. 6, ②コウボウシバ群落, ③コウボウムギ群落, ④ケカモノハシ群落, ⑥ハマゴウ群落). これは, 群落の構成種である海浜性植物が地盤高 (地形形状) の変化に合わせ, 連続的に変化していく状態を考慮したものである.

復元に使用する海浜性植物の調達

4つの海浜性植物群落 (コウボウシバ群落, コウボウムギ群落, ケカモノハシ群落, ハマゴウ群落) を復元するためには, これらの優占種あるいは構成種となる4種の海浜性植物 (ハマゴウ, ケカモノハシ, コウボウムギ, コウボウシバ) を導入 (移植) しなければならない.

先述したように, 高松海岸やその前面の干潟は三重県のレッドデータブック 2015 において「希少野生動植物主要生息生育地 (ホットスポットみえ)」として位置づけられている. また, 三重県内では, この海岸のみで記録のある昆虫類も生息している. 海浜植生の復元に使用する植物を調達する際には, このような高松海岸の環境特性や地域固有性に十分配慮しなければならない. そこで, 復元に使用する4種の海浜性植物の移植苗は, 流通苗の購入や他海岸からの持ち込みなどは行わず, 全て当該海岸から調達 (採取) することとした. 移植苗を採取する調達は整備撤去範囲外に残るハマゴウ群落, ケカモノハシ群落, コウボウムギ群落, コウボウシバ群落の4群落を対象となる. しかし, これらの調達 (採取) は海浜性植物群落に対する攪乱であり, その圧が大きくなった場合, これらの群落の衰退を招くおそれがある. このため, 調達 (採取) による影響を最小限に抑えるため, 面的に剥ぎ取るようなことはせず, 主に群落の辺縁部を調達 (採取) 対象とした. また, 調達 (採取) する際には, 掘り取る移植苗同士の間隔をあけ, 間引いて採取する方法を採用した.

移植密度・数量の決定

各海浜性植物の移植密度は, 整備撤去範囲内の海浜植

生を復元する際の一助となる数量で設定する必要がある. その一方で, 整備撤去範囲外に残る海浜植生に影響を与えない程度の数量に設定しなければならない. このため, 移植密度 (調達数量) は, 掘り取り数量と現地調達の可能な数量とのバランスを考慮し, 植生復元に必要な最小数量となるように検討した.

4種類の海浜性植物うち, ハマゴウとケカモノハシは, 移植密度に関する既往研究を見つけることができなかった. このため, 現地の生育状況などを参考に, 移植密度・数量を設定することとした. 一方, コウボウムギは既往研究による移植事例があり, その研究成果を活用することで, 本種の移植後の活着確度をより高めることが可能であると判断した. また, コウボウムギと同様の繁殖特性を有するコウボウシバも同様である.

ハマゴウは 2013 年の試験移植個体のモニタリングにおいて調査対象とした最低密度「2 個体 / m^2 」を移植密度として採用した. ハマゴウは匍匐茎が裸地に向かって伸長するという繁殖特性がある. 本種の移植密度の設定は, この点を考慮し, 活着後の匍匐茎の伸長方向を確保し, 伸長成長がより促されることを期待したものである.

ケカモノハシの移植密度は「1 個体 / 16 m^2 」として設定した. 本種が高松海岸で群落を形成している場所では, 各個体の分布間隔は 3 m 未満が中心で, 4 m を超えて分布している個体数は少なかった. このため, 個々のケカモノハシが「群落」を形成していると認識できる分布間隔は 4 m 程度 ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ の範囲に 1 個体) が限界値となる. ケカモノハシは種子繁殖によって分布を拡大するが, 高密度に移植した場合, 種子による新規参入個体の定着が難しくなる可能性がある. 本種の移植密度の設定は, 飛散した種子が裸地に定着し, 成長することを期待したものである.

コウボウムギは移植間隔を密 (1 m 間隔 = 1 個体 / m^2) に設定した場合, 平面的な被覆率が高まることが知られている (移植後 4 年目に 1 m^2 の 60 % 程度を被覆) (鈴

Table 2. Restoration target of beach vegetation and procurement quantity of beach plants required for restoration.
海浜植生の復元目標ごとに必要な海浜性植物の調達数量.

区域	復元目標	面積 m ²	植栽植物	調達数量	
	群落等※()内は随伴種			株数	計
1	コウボウシバ群落	308.18	コウボウシバ	617	617
2	コウボウシバ群落 (ケカモノハシ)	710.86	コウボウシバ	1,422	1,467
			ケカモノハシ	45	
3	コウボウムギ群落 (ハマゴウ, ケカモノハシ)	2,390.35	コウボウムギ	1,214	2,063
			ハマゴウ	697	
			ケカモノハシ	152	
4	ハマゴウ群落	1,102.22	ハマゴウ	2,226	2,226
5	コウボウシバ群落	152.62	コウボウシバ	306	306
6	コウボウシバ群落 (ケカモノハシ)	722.18	コウボウシバ	1,445	1,491
			ケカモノハシ	46	
7-1	コウボウシバ群落	380.13	コウボウシバ	381	1,139
7-2		757.8	コウボウシバ	758	
8	ハマゴウ群落	797.39	ハマゴウ	3,988	3,988
9	ハマゴウ群落 (コウボウシバ)	428.38	ハマゴウ	857	1,286
			コウボウシバ	429	
10	ハマゴウ群落 (コウボウシバ)	862.85	ハマゴウ	1,726	2,589
			コウボウシバ	863	
11	ケカモノハシ群落 (コウボウムギ, コウボウシバ)	1,191.90	ケカモノハシ	75	1,268
			コウボウムギ	606	
			コウボウシバ	587	
総計		9,804.85			18,440

復元植物	数量(株)
コウボウムギ	2,338
コウボウシバ	6,290
ケカモノハシ	318
ハマゴウ	9,494
計	18,440

木 1974；田中ほか 2002)。コウボウムギを移植した場合、1年以内に約6割が枯死する観察事例がある（遠州灘海岸での事例、108株→約40株）（野口 2010）。これらの分布拡大および移植後の生残率に関する研究報告事例を踏まえ、高松海岸の海浜植生復元範囲にコウボウムギを移植する場合の移植密度を、「移植後4年目に少なくとも1個体が生残し（生残率約40%）、それが被覆率60%程度となるように成長する」条件で設定する必要がある。

ある。また、コウボウムギならびにコウボウムギと類似した生態的特性を持つコウボウシバの移植密度も「3個体/m²」として設定した。

このように、ハマゴウ、ケカモノハシ、コウボウムギ、コウボウシバの移植密度を植生復元に必要な最低数量とした場合、移植に必要な数量は計18,440株となった（Table 2）。

【復元範囲外に残存する海浜植生（2018年調査時）】

4A: コウボウムギ群落, 4B: ハマヒルガオ群落, 4C: コウボウシバ群落, 4D: ハマゴウ群落, 4E: ケカモノハシ群落

復元区域	復元目標群落 移植植物	配植根拠
1, 5, 7-1, 7-2	① コウボウシバ群落 コウボウシバ	<ul style="list-style-type: none"> 河川, 放水路, ワンド側に傾斜する, 地盤高のやや低い区域 コウボウシバ群落が成立する地盤高 復元範囲外のコウボウシバ群落 (4C) に隣接
2, 6	② コウボウシバ群落 コウボウシバ ケカモノハシ	<ul style="list-style-type: none"> 放水路, ワンド側にやや傾斜する, 地盤高のやや低い区域 コウボウシバ群落, 安定帯のケカモノハシ群落が成立する地盤高 復元範囲外のケカモノハシ群落 (4E), コウボウシバ群落 (4C), コウボウムギ群落 (4A) に隣接
3	③ コウボウムギ群落 コウボウムギ ハマゴウ ケカモノハシ	<ul style="list-style-type: none"> 陸側の海岸堤防に近い地盤高の高い区域 コウボウムギ群落, 安定帯のケカモノハシ群落 (4E), ハマゴウ群落 (4D) が成立する地盤高 復元範囲外のコウボウムギ群落 (4A), 範囲内の④ケカモノハシ群落, ⑤ハマゴウ群落に隣接
11	④ ケカモノハシ群落 ケカモノハシ コウボウムギ コウボウシバ	<ul style="list-style-type: none"> 陸側の海岸堤防に近い地盤高のやや高い区域と地盤高のやや低い放水路側の区域 コウボウシバ群落, コウボウムギ群落, 安定帯のケカモノハシ群落が成立する地盤高 復元範囲外のコウボウムギ群落 (4A) やケカモノハシ群落 (4E) に隣接
4, 8	⑤ ハマゴウ群落 ハマゴウ	<ul style="list-style-type: none"> 陸側の海岸堤防に隣接した地盤高の高い区域 ハマゴウ群落が成立する地盤高
9, 10	⑥ ハマゴウ群落 ハマゴウ コウボウシバ	<ul style="list-style-type: none"> 河川側にやや傾斜した, 地盤高のやや低い区域 安定帯のハマゴウ群落, コウボウシバ群落が成立する地盤高 ハマゴウ群落 (4D) に隣接

Fig. 6. Arrangement of beach vegetation and its reason.
海浜植生の配植とその設定理由.

移植方法の決定

海浜植生の復元は、当初種子移植による実施を検討していた。2014年に試験的に実施した種子移植（冷湿処理のみ、薬品などによる処理は行っていない）では、ハマゴウ（播種量769g）、ケカモノハシ（同523g）、コウボウムギ（同1,143g）、コウボウシバ（同621g）のうち、発芽個体を確認できたのはコウボウムギとコウボウシバの2種のみであった（2016年調査時）。いずれも数個体の確認にとどまったため、海浜植生の復元手法として採用することは難しいと判断した。そこで、2015年にハマゴウ（匍匐茎）、ケカモノハシ（株）、コウボウムギとコウボウシバ（いずれも地下茎つき苗条）の植物体を用いた試験移植（以下、植物体移植という）を行い、移植方法を再検討した。モニタリングの結果、移植した4種の植物体は全て活着していた（2017年調査時）。このため、植物体移植は移植による海浜植生の復元効果が高いと判断し、本方法を海浜性植物の移植方法として決定した。

復元工事

技術的助言

整備撤去範囲を対象にした海浜植生の復元工事は、

「臨港道路霞4号幹線事業実施に伴う懇談会」の助言を得ながら、2016年の概略検討、2017年の詳細検討の各段階を経て、2018年8月の整備撤去範囲の整地から開始した。その後、9月から10月にはハリエンジュやセンダンなどの低木林の伐採・除根とその跡地の整地が行われ、移植工事は10月24日から2019年1月29日の約3ヶ月間にわたり実施した。この復元工事の期間中、施工業者は突発的な様々な事象に対する対応が求められる。このため、次項で示す作業手引書に基づいた事前教育に加え、復元工事の各施工段階において、施工業者に対する技術的助言を実施している。復元工事期間中に実施した助言指導の回数は計9回に及んだ。現地での助言指導の内容は、作業手引書には記載のない、主に海浜性植物の調達時と植え戻し作業に関する事項が多い。例えば、復元植物の確認方法（外来植物や内陸性植物との違いを実物で示す）、調達範囲で移植苗の想定数量を確保できない場合の対応、地下茎や匍匐茎の伸長方向を踏まえた植え戻し方法（伸長阻害を避けるため）、移植苗の植え戻し状況（土極めの状態）の確認方法などがある。

作業手引書による指導

海浜植生の復元工事を行う施工業者には、高松海岸の

高松海岸部における海浜植生復元

『作業手引書』

3.5.3 移植工（掘取）・植樹工の総括

(1) ハマゴウ

■施工箇所 ※赤字：移植工（掘取）箇所と掘取数量、赤字：掘樹工箇所と掘取数量

■移植数量

掘取箇所	掘取数量	掘取数量	掘取数量	掘取数量
4D-1	1,445,407	4,445,407	4,445,407	4,445,407
4D-2	1,720,817	2,720,817	2,720,817	2,720,817
4D-3	54,445	54,445	54,445	54,445
4D-4	17,445	17,445	17,445	17,445
計	1,627,774	1,627,774	1,627,774	1,627,774

■掘樹数量

掘取箇所	掘取数量	掘取数量	掘取数量	掘取数量
4D-1	1,445,407	4,445,407	4,445,407	4,445,407
4D-2	1,720,817	2,720,817	2,720,817	2,720,817
4D-3	54,445	54,445	54,445	54,445
4D-4	17,445	17,445	17,445	17,445
計	1,627,774	1,627,774	1,627,774	1,627,774

■移植方法

Fig. 7. Work guide for beach vegetation restoration.
 海浜植生復元のための作業手引書.

環境についての理解を深め、環境保全に対する意識の向上を図ることが重要である。このような点を踏まえて作成したのが「高松海岸部における海浜植生復元 作業手引書」である (Fig. 7)。復元工事の手順を整理するだけでなく、高松海岸の環境について理解した上での作業が可能となるように整理したもので、事前に復元工事の施工業者に配布し、環境配慮の必要性の理解を作業員に周知徹底を図った。

配植図を用いた移植指導

作業手引書には移植密度の記載はあるものの、個々の植物の移植位置の詳細については記載されていない。そこで、効率的に移植作業を進めるため、植生分布との連続性を踏まえた、整備撤去範囲内の「配植図」を検討し、施工業者に提示した。ただし、他の生物の利用可能な環境 (裸地など) の創出のため、配植図の変更を柔軟に行うように指導した。

現地で 18,440 株の海浜性植物を調達

海浜植生の復元のために使用する海浜性植物は、高松海岸内で調達するため、調達可能な数量は限られている。この限りある資源を復元材料として確実に使用するため、掘り取り作業前に海浜植生への影響が少ないと判断される場所を調達 (採取) 場所として選定し、マーキングした (Fig. 8 の①)。

調達 (採取) 場所での掘り取り作業は、一日に移植できる数量のみを掘り取ることであり、取り置きすることはしなかった。これは、取り置きに伴う移植苗の衰弱を避けるためである。また、掘り取りの際には、例えば匍匐茎を復元の材料とするハマゴウの場合、匍匐茎にある不定根と翌春に出芽する新芽の欠損に、またコウボウムギやコウボウシバの場合は地中を横走する新芽の欠損に十分な注意を払い、移植苗が可能な限り健全な状態で植え戻しできるよう配慮した (Fig. 8 の②)。このほか、海浜植生復元の対象とはしなかったハマヒルガオ (群落) は、他の海浜性植物と混生していることが多い。このため、他の海浜性植物と一緒に掘り取った場合は、そのまま使用した。また、掘り取り時の移植苗の状態を確認し、外来植物や内陸性植物が混生していた場合は、その場でそれらを取り除き、外来植物などの復元範囲への持ち込みを回避した。しかし、事前に海浜性植物と外来植物などの違いは周知していたものの、施工業者だけでは、掘り取り作業中にこれらの植物を見分けることが困難になる場合がある。このため、新たな海浜性植物の掘り取り作業開始日には、海浜性植物と外来植物などの違い、掘り取り個体に混入している外来植物などの有無について

再度指導することで、施工業者の理解が深まるよう配慮した。

掘り取り場所から一時仮置き場あるいは移植先 (植え戻し場所) へは、移植苗を「み」などに積載し、人力で運搬した (Fig. 8 の③)。これは、一輪車などを使用した運搬が及ばず整備撤去範囲外の海浜植生への損傷を最小限に抑えるための配慮として実施したものである。また、この運搬ルートも現地を確認し、設定した。

植え戻し作業

植え戻し作業では、限られた資源を確実に、かつ有効に使用するため、掘り取った全ての移植苗を当日に植え戻した。また、水の吸い上げが悪いハマゴウのような海浜性植物の場合、移植苗は掘り取り後に急速に衰弱する。このため、移植苗は水を張ったプラ船に十分に浸漬した後、植え戻しをするよう配慮した (Fig. 9 の①)。

また、植え戻す際には、いくつかの配慮が必要となる。第一に植穴掘削時の配慮である。海岸の地表面は乾燥しているため、移植苗の植え戻しには不適なためである。しかし、10 cm より深く位置まで掘り下げることによって、湿り気を帯びた層が出現する。この点に注意し、移植苗の根がこの湿り気を帯びた層に確実に埋設できるよう、植穴を掘削することが重要である (Fig. 9 の②)。第二に、現地調達した移植苗の大きさは、購入苗とは異なり、一定ではない。先述した新芽や根を損傷させてないためにも、一つ一つの移植苗の大きさに合わせた植穴を掘削しなければならない。第三に、移植苗を植穴に配置し、その隙間を海砂で充填する際には、移植苗の根と海砂が密着するよう、指や棒を使って十分に土締めをする必要がある (Fig. 9 の③④)。移植後の活着率に大きく影響するため、これらの配慮事項を踏まえた植え戻し作業を丁寧に行うことは極めて重要な工程である。

集中灌水の実施

植え戻し完了後、植え戻し箇所には灌水作業を行った。一般的に行われる灌水作業は、植物を移植した範囲全体に水を撒く、いわゆる「散水」を行うことが多い。しかし、今回、植え戻し作業を行った海岸は、透水性の高い砂浜という特殊な環境下にあるため、散水後の砂中の水分は短時間で排水されてしまう。このため、移植苗の根に十分な水分を供給することができない。コウボウムギやハマゴウなどのように、新芽が出芽あるいは伸長している植物にとって、このような時期の水分の枯渇は、植物体の衰弱あるいは枯死に直結する。このことから、今回は、対象範囲全体に水を撒く、一般的な「散水」を行うのではなく、植え戻し場所 1 箇所ごとに、地表面に水

① マーキング ※事前に残存する海浜植生への影響の少ない個体を選択

ハマゴウ(2018.9.19 撮影)

ケカモノハシ(2018.10.9 撮影)

② 丁寧な掘り取り ※苗条や新芽の出芽状況、根の状態の確認
 ※外来植物や内陸性植物を選別・除去し、復元範囲への持ち込みを防止
 ※海浜性植物が混生する場合は、まとめて掘り取り

ケカモノハシ(2018.11.5 撮影)

コウボウムギ(2018.9.28 撮影)

コウボウシバ(2018.9.28 撮影)

ハマゴウ(2018.9.28 撮影)

ハマゴウ新芽(2018.9.28 撮影)

③ 人力で運搬 ※運搬時の海浜植生への損傷を回避

コウボウシバ(2018.10.24 撮影)

ケカモノハシ(2018.11.21 撮影)

Fig. 8. Collecting beach plants. Repeat steps ① to ③.
 海浜性植物の調達. ①②③の手順を繰り返す.

① 準備 ※移植苗を植え戻し前に十分に浸漬

ハマゴウ(2018.11.5 撮影)

② 植穴の掘削 ※湿り気を帯びた層（地表面から 10cm 以深）まで掘削

(2018.11.5 撮影)

(2018.11.5 撮影)

③ 植え戻し ※新芽の損傷に注意しながら、植穴に根や匍匐茎を配置し、海砂で埋設

コウボウシバ(2018.11.5 撮影)

ハマゴウ(2018.11.5 撮影)

Fig. 9. Replanting work of beach plants. Repeat steps ① to ④.
海浜性植物の植え戻し作業. ①②③④の手順を繰り返す.

④土極め ※指や棒で突いて、根・匍匐茎の隙間に海砂を充填

(2018.10.24 撮影)

(2018.11.5 撮影)

Fig. 9. Replanting work of beach plants. (Continued)
海浜性植物の植え戻し作業. (続き)

集中灌水 ※植栽した全ての箇所を対象に、集中灌水を実施

灌水作業(2019.1.29 撮影)

ケカモノハシ(2018.10.24 撮影)

コウボウシバ(2018.10.24 撮影)

ケカモノハシ(2018.11.5 撮影)

Fig. 10. Work status of intensive watering.
集中灌水の作業.

が浮き出るまで水鉢に灌水する「集中灌水」を実施した (Fig. 10). この作業は、休工日や雨天を除き、復元工事期間中毎日実施することを原則とした。丁寧な植え戻し作業に加え、移植苗に対して、十分な水分を長期にわたって定期的な供給するという維持管理を行うことで、植え戻し後の移植苗の衰弱を抑え、活着率の向上を図った。

考 察

技術的成果

整備撤去範囲を対象にした海浜植生の復元工事は高松海岸の植生分布は概ね概略・詳細検討で想定したものに近い状態で完了した (Fig. 11). 今回のような海浜植生の復元を確実に行うためには、

- ①海岸の地盤高と海浜性植物（群落）との関係を把握し、目標とする植生や配植を決定する
- ②海岸の地域固有性を考慮し、復元工事に使用する海浜性植物は工事範囲外の海浜植生から現地調達する
- ③移植後には十分な管理（集中灌水）を一定期間行うという一連の工程を適切に実行していくことが重要である。

海浜部は保水力の劣る砂土で形成されているため、植物が有効に利用できる水分を十分に保持することが難しい。特に、少雨となる晩秋から冬季にかけては、植物にとって水ストレスの影響をより強く受ける季節である。10月下旬から開始した移植工事の課題の一つは、このような悪条件下で移植した海浜性植物の多くが、移植直後に水ストレスによって枯死に至る可能性があることであった。今回、復元工事完了時点において、移植した4種の海浜性植物の9割程度は新芽の出芽を確認することができた。このことは、長期間にわたって実施した集中灌水が、初期活着の確度を上げるうえで特に重要な工程

であり、また海浜植生を保全する際の一つの手法として参考になれば幸いである。

課題

集中灌水は海浜性植物の初期活着に一定の効果があったと考えられる。しかし、その後の海浜性植物の生残あるいは成長、それに伴う海浜植生の復元の程度には不確実性を伴う。海浜植生の復元効果や外来植物などに対する適切な維持管理の必要性を判断するためには、復元した海浜植生の状況を定期的に確認していかなければならない。

一方、今回の海浜植生の復元は、移植密度を最小数量に抑えて移植しているため、復元工事完了後の復元範囲には裸地部が広く存在する。このような裸地部の存在は、外来植物や内陸性植物の侵入・定着の機会を与えることになるため、これらの植物の動向にも注意が必要である。

今後の展望

高松海岸の環境保全

高松海岸では、復元工事完了後の高松海岸が地域住民や海岸利用者にとってより親しみやすい場所になるよう、「利用」と「保全」の両面から今後の取り組みのあり方について意見交換した「高松海岸の利用と保全に関するワークショップ」(2015年度～2016年度、計6回開催)を開催している。このワークショップの成果をとりまとめた『高松海岸の利用と保全に関する取り組み事例(概要版)』(高松海岸の利用と保全に関するワークショップ(編) <http://www.yokkaichi.pa.cbr.mlit.go.jp/file/content/file/jigyo/takamatu-torikumi/torikumijirei-gaiyou.pdf>, 2021年2月23日確認)には、復元した海浜植生を維持するための具体的な取り組み例(外来植物や内陸性植物の除草、海浜性植物のタネまき、清掃活動団体との連携な

(2019.1.29 撮影)

Fig. 11. Completion of restoration construction of beach vegetation on Takamatsu coast.
高松海岸における海浜植生の復元工事の完了。

ど)が記載されている。取り組み内容には専門的な知識を有する内容も含まれているため、必要に応じて、専門家の参画も検討しなければならない。しかし、このような事例集を参考に、地域住民、NPO、行政機関などが連携・協力しながら、復元した海浜植生を含めた高松海岸の環境保全が進むことに期待したい。

外来植物などへの対応

海浜植生への影響を最小限に、外来植物や内陸性植物を防除(駆除)するためには、①人力による「抜き取り」と「刈り取り」の実施、②対象となる外来植物などの特性に合わせた実施(例えば、多年生植物の場合、地下茎からの新たな苗条の再生を防止するため、地下茎からの「抜き取り」もしくは生長期中に「刈り取り」を繰り返す)、③「抜き取り」「刈り取り」後の再定着や種子落下を防ぐため、刈り草は海岸から搬出し、焼却などの処分をする、といった注意点がある。このような注意点は、「高松海岸における海浜植生復元 維持管理の手引きー除草についてー」(以下、管理の手引き)としてまとめている(非公表)。海浜植生復元後の維持管理の理解を深め、かつ実働可能な取り組みとして継続していくためには、このような情報を広く一般に提供することが大切であり、今後の活用期待したい。

一方、復元工事後の海浜植生が安定した群落を形成するまで、外来植物などの侵入を抑えるためには、定期的な維持管理の実施が望まれる。高松海岸では、定期的に「伊勢湾 森・川・海のクリーンアップ大作戦」あるいは「海岸清掃(川と海のクリーン大作戦)」といった海岸清掃が行われている。このような地域活動の一つとして、上述した「管理の手引き」や必要に応じて専門家の助言を得ながら、防除活動を進めていくことができれば、継続的な取り組みになるものと期待される。

謝 辞

国土交通省中部地方整備局四日市港湾事務所には、本事例に関する資料やデータの公表に際して、ご理解と多大なるご協力をいただいた。ここに記して厚く御礼申し上げます。

摘 要

臨港道路「霞4号幹線」の整備では、高松海岸や干潟の多様な機能の保全を目指し、各種の環境保全対策を実施した。これらのうち、整備に伴い撤去した範囲の海浜

植生を復元する、全国的にも少ない技術事例を報告する。復元する植生の配置は、整備撤去範囲外に残る海浜植生との連続性や地形条件を考慮して決定した。また、復元に使用する海浜植物は、復元群落の面積と植栽密度から必要数量を算出し、整備撤去範囲外の高松海岸から調達した。また、復元工事の施工時には、施工業者に対し、復元作業手引書に基づいた現地指導を行った。

引用文献

- 独立行政法人 森林総合研究所 東北支所(2015)津波被害軽減機能を考慮した海岸林造成の手引きー海岸林を造成・管理する実務者のためにー。東北支所、岩手。
- 早坂大亮・藤原一繪(2006)神奈川県湘南海岸に現存する海浜植物群落の成立要因。日本緑化工学会誌 **32**: 346-354。
- 林良嗣・栗原淳(2017)道路建設とステークホルダー合意形成の記録ー四日市港臨港道路霞4号幹線の事例より。明石書店、東京。
- 楠瀬雄三・石川慎吾(2014)米子市弓ヶ浜の離岸堤によって再生した海浜における海浜植物の分布特性。植生学会誌 **31**: 1-17。
- 三重県農林水産部みどり共生推進課(2008)三重県レッドデータブック 2015ー三重県の絶滅のおそれのある野生生物ー。三重県農林水産部みどり共生推進課、三重。
- 宮本雅美・西川洋子(1999)石狩海岸における海浜植生の復元試験。北海道環境科学研究センター所報 **26**: 78-81。
- 宮脇昭・奥田重俊編(1990)日本植物群落図説。至文堂、東京。
- 野口英昭(2009)遠州灘海岸における防潮堤の緑化実験。日本緑化工学会誌 **35**(4): 508-512。
- 岡浩平(2009)海岸環境と生物多様性ー海浜植生の保全・復元を事例にー。日本緑化工学会誌 **35**(4): 503-507。
- 岡浩平・吉崎真司・小堀洋美(2007)神奈川県大磯町の湘南海岸における地形変化に伴う海浜植生の定着過程について。日本緑化工学会誌 **33**: 27-32。
- 臨港道路霞4号幹線調査検討委員会(2003a)臨港道路霞4号幹線調査検討作業報告書(http://www.yokkaichi-port.or.jp/kasumi_r4/pdf/houkokusho_gaiyou.pdf, 2021年2月23日確認)。
- 臨港道路霞4号幹線調査検討委員会(2003b)提言と付帯意見及び道路ガイドプラン(http://www.yokkaichi-port.or.jp/kasumi_r4/index.html, 2021年2月23日確認)。
- 清水一(2016)北海道における海浜植物の増殖と導入の事例。**20**(2): 83-100。
- 鈴木清(1974)海岸砂地固定植物としてのコウボウムギ(*Carex kobomugi* Ohwi)の利用に関する研究。神奈川県林業試験場研究報告 **2**: 1-28。
- 高松海岸の利用と保全に関するワークショップ(編)(2018)高松海岸の利用と保全に関する取り組み事例(概要版)(<http://www.yokkaichi.pa.cbr.mlit.go.jp/file/content/file/jigyo/takamatu-torikumi/torikumijirei-gaiyou.pdf>, 2021年2月23日確認)。
- 田中規夫・渡辺肇・谷本勝利・小松原肇(2002)海浜植生コウボウムギの生長および平面拡大解析。海岸工学論文集 **49**: 506-510。