

# 真空吸着車輪ゴンドラの開発

本州四国連絡橋公団 保全部 設備課 中村 修

## 1. はじめに

海浜部などの塩害環境下に構築されている大規模コンクリート建造物の保全では、塩分進入や中性化による内部鋼材の腐食防止対策が重要な課題になる。保全作業は、点検調査、劣化防止、修復などであり、いずれも対象部位への接近が必要になる。しかし、現在の点検調査は管理路や脚立などによる、接近可能な範囲に限定される。また、劣化防止作業は総枠組足場(写真-1)で施工されているため、組立解体時には基部への侵入が不可欠で設置期間と費用がかさむ難点があり、今後全ての建造物へ適用することは困難であることから、コンクリート壁面への安全・確実・短時間で安価な接近手段が求められている。



写真-1 アンカーレージの総枠組足場

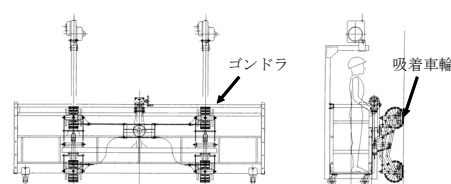


図-1 真空吸着車輪ゴンドラ

よって図-1 に示すような真空吸着車輪ゴンドラによる接近手段を考案した。本装置の要諦はコンクリート壁面への吸着機構にあり、今回開発した真空吸着車輪を実験した結果、実用化に明るい見通しを得た。

本文では、開発にあたっての技術課題とその解決方法、車輪の吸着力、連続吸着性等の実験結果と今後の課題を述べる。

## 2. 壁面への接近方法

基部への進入と高さに左右されず、設置期間を要しない接近方法に、ビル壁面などで多用されているゴンドラがあるが、ゴンドラは風によって揺れるため、稼働率が低下するとともに作業反力が得られない難点があり、採用にあたってはこれらの解決が必要になる。

通常ゴンドラに吸着機構を付与した事例に、磁石車輪ゴンドラがあり、大鳴門橋主塔塗替試験工事で使用した結果、次を得た。

- ①磁石車輪で壁面に連続吸着するため、風によって揺れず、作業風速は、作業員の安全性と施工品質保持上の限界であった5~6m/sが13m/sまで可能になり、作業反力も確保できる。
- ②施工報告によると、大鳴門橋の通年気象条件による稼働率は、従来の50%から80%に向上する。

また、枠組足場の場合と、吸着車輪ゴンドラを使用する場合の接近コストは表-1に示すように、ゴンドラを5台投入しても、枠組足場に比べて約25,000千円安価となり、本四

表-1 接近コスト比較

項目	枠組足場 全面設置	真空吸着車輪 ゴンドラ5台
損料	12,800千円	18,000千円
組立・解体費	38,500千円	-
吊元費(4面)	-	8,000千円
合計	51,300千円	26,000千円
1㎡当たり	5,130円	2,600円

※ 対象物：50m立方のアンカーレージ壁面  
(4面合計 10,000㎡)  
対象作業：劣化調査、塗装(共に人力作業)  
作業期間：6ヶ月

架橋全体の効果は約4億円安くなる。また、開発全体の効果は、費用を設計から実橋実験まで踏まえても、効果/費用(B/C)は15倍であり十分な投資効果がある。

以上から、コンクリートのような非磁性壁面でも吸着可能な機構を有したゴンドラの開発に着手した。

### 3. 吸着機構

#### 3.1 既往吸着技術

非磁性体壁面への既往吸着技術としては、ビルの外装点検等を目的に真空吸着移動体が考案され実施工に供されている。しかしゴンドラとの組み合わせでは、①機構が煩雑、②装置の大型化、③移動速度や範囲が限定される、④積載を目的としていない等の難点があり既往技術を採用することは不可能である。したがって、機構が簡素・コンパクトで、容易に広範囲の移動が可能となる車輪形状の真空吸着機構(図-2)を開発する。

#### 3.2 ゴンドラの必要性能

吸着機構を有したゴンドラに必要な性能は、壁面に常時吸着し、高速移動、重量物積載、広い作業エリア、高い安全性を実現することにある。また、瀬戸大橋のアンカーレイジ壁面には、船舶のレーダー偽像対策として5°の反射角(段差高252mm)を持たせたテクスチャーを配している。これらを踏まえたゴンドラの必要性能を表-2に示す。

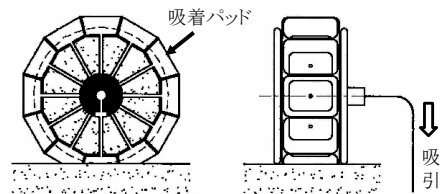


図-2 車輪形状の真空吸着機構構想図

表-2 必要性能

項目	必要性能
高速移動	昇降速度 7.2m/min
重量物搭載	積載質量 300kg 以上
広い作業エリア	50m×50m で安定した移動
高い安全性	耐風速 16m/s で揺れないこと
段差走行性	高さ 252mm のテクスチャー乗越
所用吸着力	1 輪当たり 490N (50kgf) で連続吸着
横抵抗力	1 輪当たり 245N (25kgf)



写真-2 吸着パッドと密着性状況

### 4. 真空吸着車輪の技術課題と対策

必要性能のうちゴンドラを採用することで得られるものを除き、車輪を検討した結果、次の技術課題があった。

#### 4.1 凹凸面への密着性確保

凹凸面の密着性を確保するためには、吸着パッドの柔軟さが必要になる。一般に流通しているパッドは硬質ゴム製であり、凹凸に対する密着性は劣る。また端部が薄く比較的柔軟性を有する円形パッドでも、車輪の回転によりパッド端部に巻き込みを生じる。このため、鋼板に柔軟性に富むスポンジゴムを貼り合わせた吸着パッド(写真-2)を製作し、凹凸面の密着性を確保した。

#### 4.2 吸着パッドへの吸気機構

回転体を真空吸着させるため、壁面に接触していないパッドからエアを吸い込むと真空は形成されない。各パッドへの吸気配管を独立させると真空形成は可能になるが、機器構

成が煩雑になり現実的ではない。よって、車輪の回転中心にディストリビュータハブを組み込むことで解決した。これにより、壁面側のパッドのみを常に吸着し、かつ簡素な機構にできた。(図-3)

### 4.3 真空発生機構の選択

高所で広範囲の移動を要することから、真空発生機構は車輪近傍、すなわちゴンドラ上に搭載しなければ、施工能率が格段に低下する。また、メンテナンス上は小型軽量で汎用性のある機構が必要である。この真空発生機構には、真空ポンプ方式と、エジェクタ（真空発生器）を使用して正圧を負圧に変換するコンプレッサー方式があるが、コンプレッサーは市場に多く出回っており汎用性に優れ、不具合時の代替品も容易に確保できることから、コンプレッサー方式を採用した。今回使用したのはベビーコンプレッサーで、小型軽量のため人力で容易に可搬でき、ゴンドラ上に搭載できる。

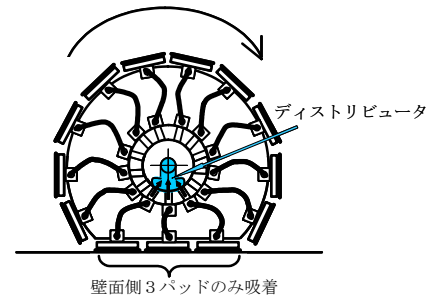


図-3 ディストリビュータハブ

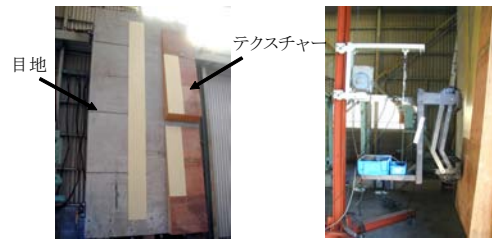


写真-3 模擬壁面 写真-4 装着状況

## 5. 室内実験

### 5.1 実験方法

前述の検討結果を基に車輪を試作し室内実験した。走行面は、目地を切ったコンクリート平面と実スケールのテクスチャーを2段配した模擬壁面を使用し、懸架装置と車輪は、ゴンドラに装着した条件になるよう重量配分した。(写真-3、写真-4)

実験の主な確認項目は、①車輪の吸着力、②車輪の横抵抗力、③連続吸着性、④テクスチャー乗越性能である。

### 5.2 実験結果

#### 5.2.1 真空吸着力

真空吸着力は、吸着させた車輪を後方に引き、車輪が離壁するときの最大引き剥がし力を測定した。代表的な測定データを図-4に示す。測定結果から、最大585N(59.7kgf)、最小516N(52.7kgf)のデータが得られた。1車輪当たり490N(50kgf)としても、4車輪では1,960N(200kgf)の吸着力が十分に得られる。

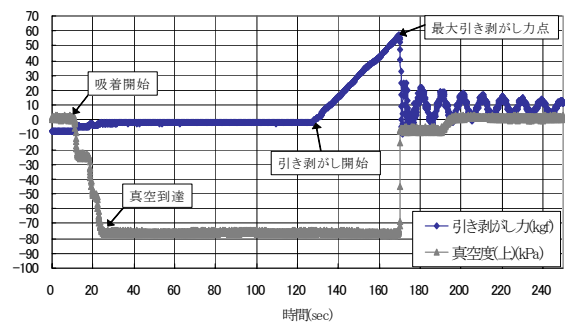


図-4 真空吸着力

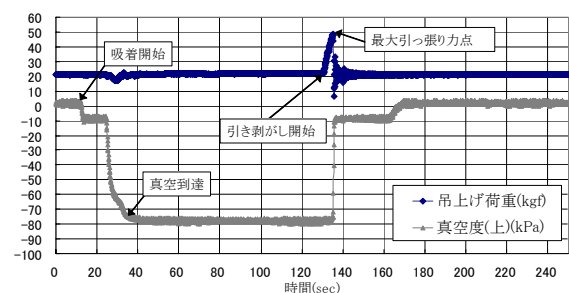


図-5 横抵抗力

#### 5.2.2 横抵抗力

横抵抗力は、車輪軸を軸方向に引き、車輪がずれるもしくは剥がれる時の最大引っ張り力を測定した。代表的な測定データを図-5に示す。測定結果から、最大272N(27.8kgf)、最小214N(21.9kgf)のデータを得た。今回は1車輪で引っ張ったため、本来の4輪での安

定した抵抗力より低い値が出ていると考えられるが、横抵抗力は1車輪当たり平均値の245N(25kgf)としても、4車輪で980N(100kgf)以上が十分に得られる。

### 5.2.3 連続吸着性

連続吸着性は、吸着車輪を一定速度で回転させて、連続する3パッドの真空度で吸着性能を確認した。代表的な測定データを図-6に示す。吸着の切替は等間隔で円滑に出来ている。

### 5.2.4 テクスチャー乗越性能

テクスチャーの乗越手順は、図-7のように上昇中、車輪がテクスチャー下部に接近すると、①上車輪を Gondola 側に引き込み、段差を乗り越す。②上車輪が吸着後、下車輪を引き込む。③段差を乗り越えたら再度吸着する。この動作を繰り返し上昇する（下降時は逆）。実験では、昇降中に停止することなく円滑に乗り越える動作を確認した。

以上から、各項目とも良好な結果が得られ、また、①吸着機構は円滑に作動する、②吸着力、横抵抗力とも実用上の耐力が十分に得られる、③吸着力、不陸追従性、安定性などの吸着性能はパッド形状・硬度の選択が重要であるとの知見を得た。

## 6. 今後の課題

今回の実験により真空吸着車輪単独の機能は確認できたが、実用化には Gondola への装着が不可欠である。実作業へ使用するまでの課題としては、①吸着安定性のさらなる向上、②耐久性を有するパッドの製作、③実基礎での使い勝手の検証、④吸着パッドの耐久性の検証などが挙げられる。

これらの課題を解決するためには、今後予定されている保全作業に供して使い勝手などを確認するのが最も早道になる。さらに、今まで必要でありながら設備の不足から制約されていたコンクリート品質（塩分含有量、中性化深さ等）のデータ不足も一挙に解消される。したがって、今後は Gondola に真空吸着車輪を装着し、実橋での機能確認やコンクリート品質のデータ収集などを計画している。

## 7. まとめ

当公団には海浜部に数多くの大規模コンクリート構造物があり、本開発により点検や劣化防止対策など保全作業の機動性、安全性、保全コストが飛躍的に向上されるものと期待できる。今後は計画している実橋実験で課題を検証し、よりよい設備にしていく所存である。

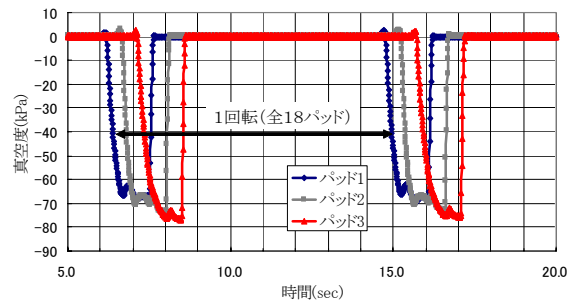


図-6 連続吸着性

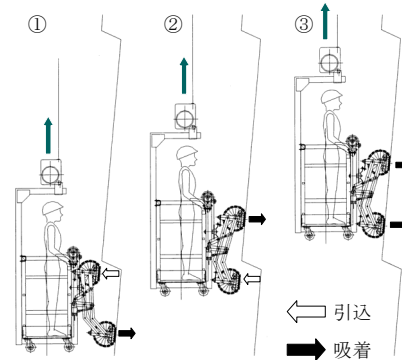


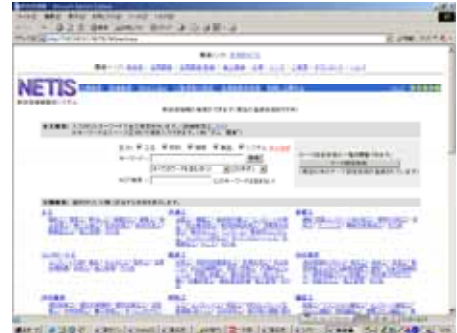
図-7 テクスチャー乗越手順

# 東北地整における新技術活用の取り組み【新技術一覧表作成システム(LIPS:リプス)】

東北地方整備局 東北技術事務所 技術情報課 岩渕 賢一

## 1. はじめに

国土交通省では、コスト縮減、品質・安全の確保環境の保全などの公共工事を取り巻く諸課題を解決することはもとより、技術力に優れた企業が伸びる環境づくりや民間での新技術開発に向けた取り組みの促進を図ること目的として、公共工事における新技術の活用を積極的に進めている。



優れた新技術が公共工事に広く展開されると、公共【図 - 1: NETIS トップ画面】工事を巡る様々な課題を「新技術」というツールで解決することが期待され、技術力に優れた企業が伸びる環境づくりの一助となるものと考えられます。

このため国土交通省では、有用な新技術の活用を円滑に進めるために、新技術に関する情報収集や導入効果の検証・評価という一連の流れを「公共工事における技術活用システム」として体系化しており、新技術に関する情報収集・共有を図る手段として「NETIS」を平成10年度から運用している。

## 2. NETIS (ネティス: NEW Technology Infomation System) とは？

NETIS (新技術情報提供システム) とは、広く民間等から新技術の情報を収集することにより、その技術の成立性・現場適用性等の確認を行うとともに、有用な新技術を公共工事で活用・普及を図るためのデータベースシステムである。

NETIS 工程分類 (全31工種)	H10 登録	H11 登録	H12 登録	H13 登録	H14 登録	H15 登録	合計
1 土工	37	46	13	21	9	10	136
2 共通工	185	181	54	75	91	85	671
3 基礎工	35	31	8	4	5	8	91
4 コンクリート工	80	49	15	21	16	14	195
5 仮設工	21	33	10	8	12	9	93
6 河川海岸	46	65	17	17	18	30	193
7 河川維持	2	6	3	2	3	4	20
8 砂防工	8	15	2	1	5	5	36
9 舗装工	82	93	24	49	32	26	306
10 付属施設	39	60	15	29	32	23	198
11 道路維持修繕工	66	53	33	22	22	27	223
12 共同溝工	6	11	8	2	4	4	35
13 トンネル工	46	28	5	16	13	11	119
14 道路除雪工	3	4	0	1	0	0	8
15 橋梁上部工	46	20	7	5	18	18	114
16 公園	2	3	1	1	3	0	10
17 ダム	27	18	2	4	0	1	52
18 シールド	51	35	2	9	6	3	106
19 推進工	6	11	2	2	1	3	25
20 上下水道工	20	17	6	4	0	3	50
21 機械設備	15	38	14	20	13	11	111
22 建築	21	22	20	19	7	8	97
23 建築設備(電気)	6	9	5	5	3	1	29
24 建築設備(機械)	2	0	1	1	2	0	6
25 環境対策工	37	53	13	32	21	20	176
26 調査試験	41	62	25	18	25	19	190
27 ITS関連技術	0	0	1	2	1	0	4
28 CALS関連技術	1	3	0	1	3	2	10
29 電気通信設備	2	1	1	0	5	14	23
30 災害対策機械	0	1	0	0	1	1	3
31 その他	2	3	1	6	7	2	21
合計	935	971	308	397	378	362	3,351

## 3. 新技術活用に対する課題

NETIS 登録技術が年々増加する中で現場意見(ニーズ)として「類似技術が多い」「現場条件に適合した技術の絞り込みが難しい」等の意見が多く寄せられるようになり、有用な技術を簡易的に検索できる方法、あるいは工法選定支援方策が求められるようになっている。

【図 - 2: 年度別登録件数(H16.9.6現在: 公開NETIS)】

## 4. LiPSシステムの開発

### 4.1 LiPSシステムとは？

NETIS登録技術の中から、新技術を抽出（選定）する際の絞り込み時間の短縮を図ることを目的に、技術ニーズに関連するキーワードを入力することにより、該当するNETIS登録技術を抽出するシステムを構築した。

抽出された類似技術を一覧表にして長所・短所の比較が可能であり、Excel形式での比較表の作成が可能なシステムである。

昨年度、東北地整内で運用を開始したが、「他の地方整備局でも利用したい」と言う意見があったことから、全地方整備局のイントラネット上（建WAN経由）での配信をH16.6月から開始した。（全国の国土交通省職員のみ閲覧可能）

NETISは全国共通のシステムであるが、比較表の作成を可能としている「LiPS」は、東北地整管内（東北技術事務所）で独自に開発したシステムである。



【 図 - 3 : LiPSトップ画面 】

### 4.2 NETISシステム、LiPSシステム違い

	NETISシステム	LiPSシステム
システムの概要	<p>新技術情報提供システム                      全国で登録されているNETIS情報の閲覧が可能                      運用経緯                      ・H10年度～：運用開始                      ・H12.9月～：地方自治体・政令指定都市への公開を開始                      ・H13.4月～：一般インターネット公開を開始                      システム管理/データ保守：関東技術事務所</p>	<p>新技術一覧表作成システム                      NETIS情報の工種区分や、フリーワードを複数入力(手入力)することにより、該当する新技術の検索結果の出力が可能。                      運用経緯                      ・H14まで：システム開発                      ・H15.4月～：東北地整での運用を開始                      ・H16.6月～：全地方整備局配信を開始                      システム管理/データ保守：東北技術事務所</p>
システムの特徴	<p>個々のNETIS登録技術の技術内容の閲覧が可能                      画像情報が入っており、技術概要及び特徴を把握する上では有利である。                      複数のNETIS登録技術との比較検討をしやすい。                      各々の技術概要を出力し比較表を作成しなければならない。</p>	<p>複数のNETIS登録技術を比較検討する際の一覧表「Excel形式」の作成が可能である                      適用性等評価結果(様式2)及び活用効果(登録申請時の活用効果)等を含めた比較が可能。                      類似技術が全て網羅でき、一覧表作成時間が大幅に短縮出来る。</p>

### 4.3 LiPSでの比較可能項目

技術名称、副題

新技術の概要、特徴

従来技術と比較した活用の効果（経済性、工程、品質、安全性、施工性、環境）

施工実績（国土交通省、他の地方公共団体、民間等）

活用事業区分（試験フィールド、技術活用パイロット、準一般工事、その他公共工事）

活用にあたっての留意事項

開発業者名、問い合わせ先、担当者名等

5. システムの操作方法(イントラネットで東北地方整備局のトップページを選択)

Lipsによる検索



⑤半(コンポジット)たわみ性舗装工: 8件



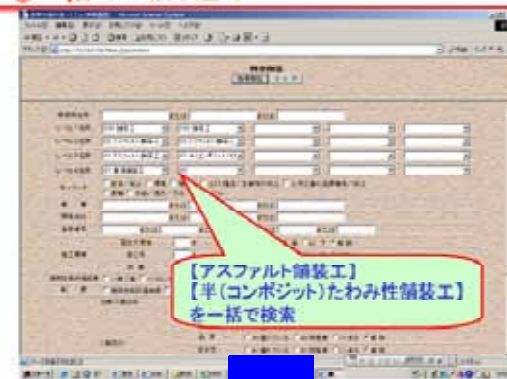
【半(コンポジット)たわみ性舗装工】で8件が該当

アスファルト舗装工での検索



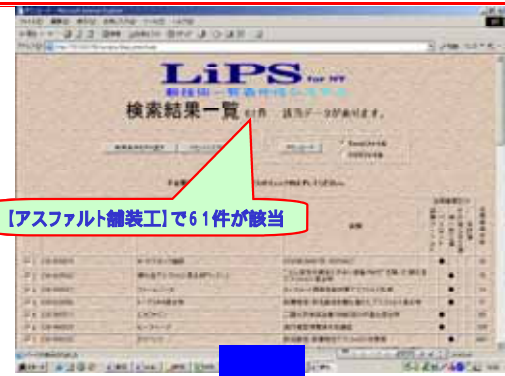
NETIS情報の工種区分【アスファルト舗装工】で検索

⑥一括での絞り込み



【アスファルト舗装工】  
【半(コンポジット)たわみ性舗装工】を一括で検索

アスファルト舗装工: 61件



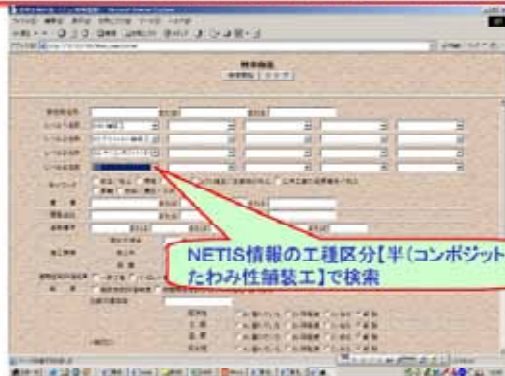
【アスファルト舗装工】で61件が該当

⑦一括での絞り込み: 69件



一括検索で69件が該当

④半(コンポジット)たわみ性舗装工での検索



NETIS情報の工種区分【半(コンポジット)たわみ性舗装工】で検索

⑧Lipsシステムでの検索結果(Excel形式)

## 6. 今後の課題(更なる利便性の追求)

### 6.1 運用上の課題

LiPSシステムの更なる利便性を考えた場合、現時点では以下の課題が考えられる。新技術を活用するポイント・重点項目(経済性重視?環境配慮?)等、現場ニーズに適合(重み付け)した技術の絞り込みが行えない。

新技術の選定基準に申請者の特異性や地域性等が反映されない。

ある一定の施工条件を満足する新技術の検索ができない。

例えば法面工の場合、適用可能勾配や最大適用高等など、一定の施工条件に該当する新技術を検索することができない。

### 6.2 更なる利便性向上に向けたLiPSの改良方策

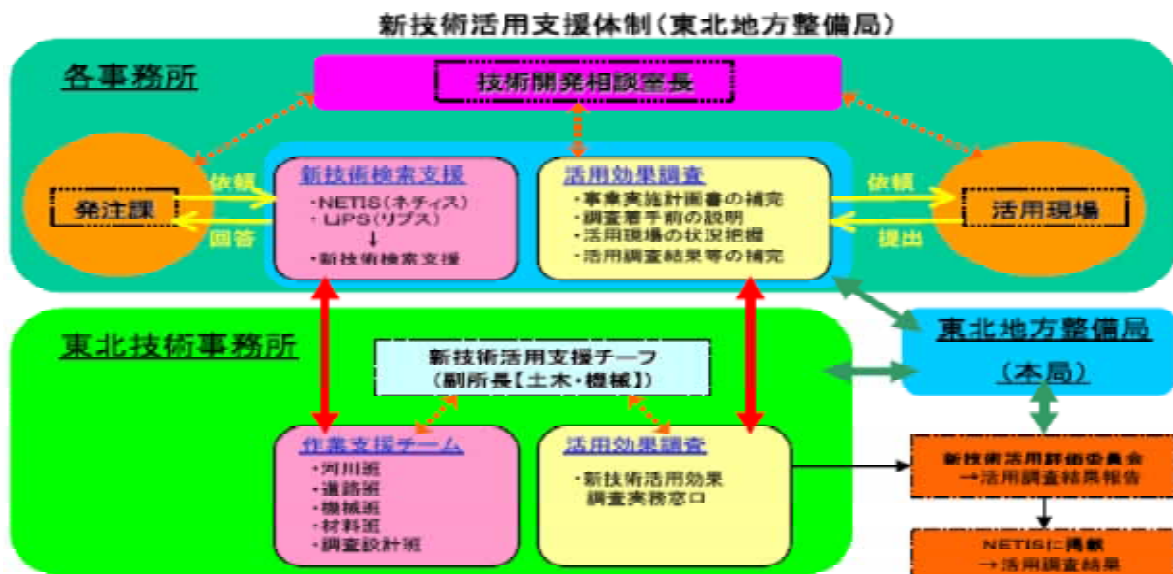
ある一定の施工条件を満足する新技術の検索を可能とするために、施工条件入力値による検索を可能とするためのシステム修正。

施工条件入力値に対応した入力検索機能の追加等。

その他、他地整からの改善要望に対応したシステム修正等。

## 7. 新技術活用の支援(東北地整の取り組み)

東北地方整備局では、今年度から「LiPSを利用した新技術の工法選定支援」及び「活用効果調査の取りまとめ支援」に取り組んでいる。



## 8. 成果の有益性、建設事業への貢献度

公共工事における技術活用システムの中で運用しているNETISシステムは、有用な新技術を活用しながら公共工事のコスト縮減に取り組んで行くものである。

このような中で、NETIS登録技術から有用な技術を抽出する際に「類似技術が多い」「現場条件に適合した技術の絞り込みが難しい」等の意見に対して、NETIS登録技術の抽出・工法選定を簡易的に行えるシステムとして利用して頂き、NETIS登録技術の活用促進、あるいは公共工事のコスト縮減に寄与するシステムとして運用していきたい。



# 名古屋港浚渫土による中部国際空港空港島の造成 中部地方整備局と中部国際空港(株)の連携事業の総括

名古屋港湾・空港整備事務所 企画調整課 小西 敦也

## 1. はじめに

中部国際空港は、平成15年2月空港用地部約470haの海面埋立による造成を概成した。造成工事は着工の遅れにもかかわらず、当初の想定より早く概成し、コストも大幅に削減される見込みとなった。

この大きな要因となったのが、中部地方整備局と中部国際空港株式会社の連携事業にて実施された、世界初の大規模固化処理技術を用いた浚渫土863万 $m^3$ 、面積140haにのぼる用地造成である。

この技術は、名古屋港湾・空港整備事務所での実証試験を通じて技術が確立されたものである。

## 2. 名古屋港の浚渫事業

急速に進展する世界的なコンテナ化とそれに伴う船舶の大型化により、貿易額・取扱貨物量ともに日本一の名古屋港では、日本最大水深の-16m岸壁と航路の整備を急いでいる。今回の連携事業では、これら大水深航路・泊地浚渫事業で発生する浚渫土のうち、時期的に合致したものについて空港島用地へ運搬した。

## 3. 中部国際空港の埋立事業

中部国際空港は、常滑沖約2kmに建設中である。用地は主に山土を使用して埋立造成される計画であったが、伊勢湾周辺には大量急速施工に見合うだけの供給土源が十分になく、また価格も高いことから、名古屋港の浚渫土を埋立材として活用することを決定した。

浚渫土の活用にあたっては、短期間に所用の強度発現が期待できることと、大量急速施工に対応が可能という理由で、管中混合固化処理による浚渫土の固化処理工法を採用することとした。北西部約140haが本工法により埋立られた。



図-1 名古屋港-中部国際空港位置図

## 4. 浚渫土による用地造成

### 4.1. 管中混合固化処理工法

管中混合固化処理工法とは、浚渫土を空気圧送船にて揚土・圧送する際に固化材(セメント)を添加し、圧送管内で発生するプラグ流による乱流効果を利用して浚渫



図-2 中部国際空港完成予想図

土と固化材を攪拌・混合するものである。施工概念図を図-3に、施工中の写真を写真-1及び写真-2に示す。

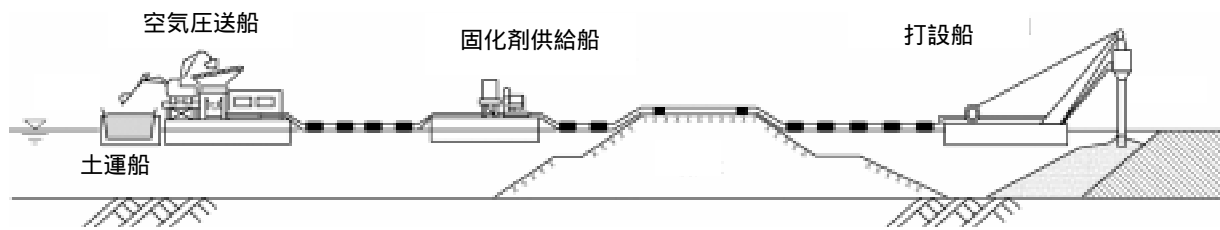


図-3 施工概念図

#### 4.2. 改良浚渫土の設計と管理

今回の工事は、大量急速施工かつ、原材料である浚渫土の品質に大幅なばらつきがあることから、空港が必要とする地盤強度を確保する方策が最大の課題となった。

浚渫土の性状については浚渫場所毎に大幅に変動するため、事前に浚渫区域毎に調査及び試験を行い、施工時には、当局と会社で土運船毎のデータを共有できるシステムを構築した。それでも、固化処理土の強度は、室内試験と現場での強度の違いが最大50%となり、ほぼ同一の性質の浚渫土でも現場では35%の変動が予測されることから、室内配合強度を、必要基準強度 $120\text{KN/m}^2$ の約2.5倍の $314\text{KN/m}^2$ まで大きくしたが、これでも100%の満足を得られることは困難と考えられた。

このため、許容可能な現場不良率（基準強度以下となるもの）を25%まで許容する品質管理方式を導入した。



写真-1 施工中の空港島

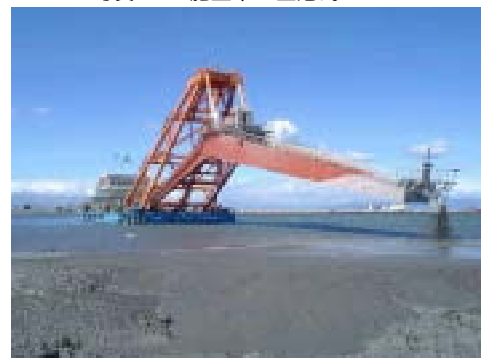


写真-2 改良浚渫土の打設状況

#### 4.3. 改良埋立地盤の強度

現場打設直前に採取した試料と埋立完成後の地盤でのボーリング調査による改良浚渫土の強度を図-4、図-5に示す。

図-4の打設直前試料の試験結果では、一軸圧縮強度の平均が $430\text{kN/m}^2$ 、室内配合強度を下回る供試体は全体の約18%であった。

ボーリング試料の試験結果については、一軸圧縮強度の平均が $296\text{kN/m}^2$ 、変動係数が37%であり、設計基準強度 $120\text{ kN/m}^2$ と比較して、空港用地としての地盤強度は満足していることが確認された。なお、基準強度を下回ったのは10%以下と良好であった。

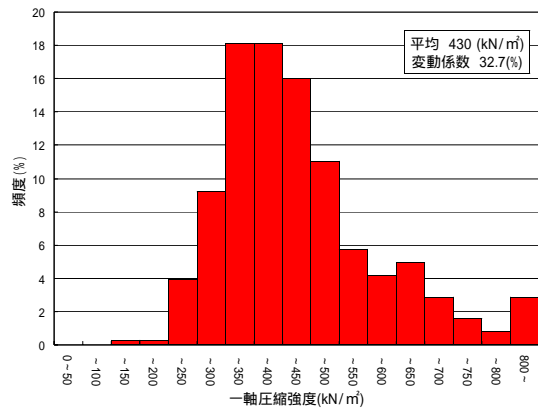


図-4 打設直前試料の試験結果

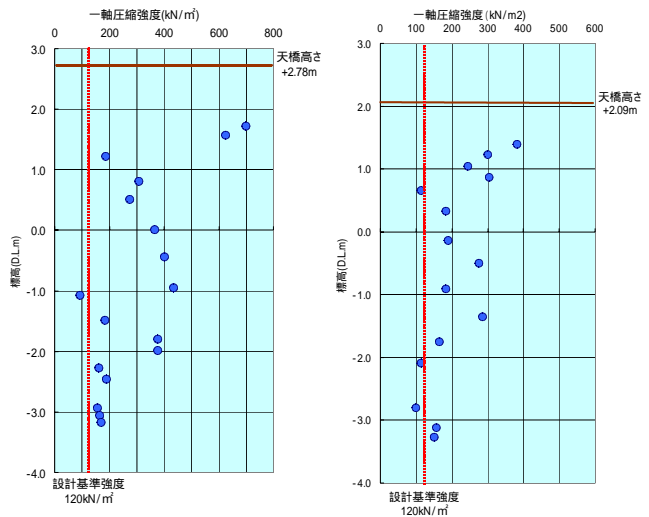


図-5 ポーリング試料の試験結果

#### 4.4. 浚渫土の管中混合固化処理工法への適用性

本事業の結果から、固化処理に対する適用性をまとめると以下の通りとなる。

要因	適用性
含水比	<ul style="list-style-type: none"> <li>低い場合：短時間で圧送前の解泥が十分にできない。このため、圧送能力が低下する。原泥に対する固化材量は少なくできる。</li> <li>高い場合：圧送能力は高い。原泥に対する固化材量が多い。</li> </ul>
砂分含有量	<ul style="list-style-type: none"> <li>多くなるにつれ、圧送能力が低下するため、含水比を多めに設定する必要がある。</li> <li>このため、原泥に対する固化材量を増加させる必要が生じる。</li> </ul>
有機物含有量	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機物は改良浚渫土の強度を低下させる傾向がある。</li> <li>含有量が多いと固化材量を大幅に増やす必要が生じる。</li> </ul>

### 5. 連携事業の意義と課題

#### 5.1. 連携事業の意義

本連携事業は中部地方整備局と中部国際空港株式会社双方にとり、下記に示すとおり有意義なものであった。

- 中部地方整備局

- 土砂処分場が延命できる。(新規土砂処分場を設けた場合に比べコスト縮減となる)

- 中部国際空港株式会社

- 山土と浚渫土による埋立を併行に行うことで工期の短縮が可能となる。
- 山土より安価な浚渫固化処理土による埋立でコスト縮減ができる。

また、中部国際空港の造成用山土は主に伊勢湾周辺域から調達されているが、浚渫土をリサイクルして利用することは山土採取量を減らすことにつながるため、陸域環境に与える影響を減少させることとなった。

## 5.2. 連携事業の課題

「官」と「民」の連携事業となった、本ケースでは名古屋港湾・空港整備事務所の発注工事と中部国際空港株式会社が発注した工事間で緊密な連携が必要となる。両者の間で施工業者も含めて連絡協議会を設置して定期的に情報交換を行うことにより円滑な施工を行うよう努めたが、下記のような課題が生じた。

### ・ 施工体制の違いによる稼働条件の差

- 双方の稼働時間、作業休止日体制、作業中止基準の差でどちらかが止まれば両方の工事が中止することとなった。

### ・ 定量的な供給体制を浚渫工事の中でとることの難しさ

- 浚渫工事では、浚渫最盛期では多量、仕上げ段階では少量の浚渫土が発生する。しかしながら、埋立側はその事情に合わせて体制を変えることは出来ない。

### ・ 工程計画変更に対する調整の難しさ

- セメント固化に伴う土量変化により原材料である浚渫土の必要量が変化するため、浚渫工事側は固定した事業計画の立案が困難となる。場合によっては発注済み工事の変更も余儀なくされる。

民と官の連携事業においては、官側としても予算措置を含め事業計画をフレキシブルなものにできる体制をとることを検討すべきである。

## 6. おわりに

管中混合固化処理工法による名古屋港の浚渫土を用いた、中部国際空港の用地造成は品質、出来型ともに初期の目標以上の実績を残して完了した。

本業務の成功は浚渫土のような軟弱土のリサイクルに向けての一つの大きな指標となることが期待される。

今後、さらなる省コストと、現場管理の省力化を進めていくことが本工法の汎用化に向けての課題と考えられる。

連携事業については、特に今回のような官と民の間の事業の場合、様々な課題が生じた一方で、一定のルール作りを行い両者が協調して事業を成功に導いたことは大きな成果と言える。今後このような連携事業は、公共事業のあり方についての大きな選択肢となることが予測される。そのために、予算措置を含め官側の事業システムを民に合わせて柔軟に対応できるような体制づくりが必要と考える。



写真-3 中部国際空港（平成16年9月現在）

# 高圧水ジェット式小型油回収機の開発

～ 油流出事故から海を守る ～

四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所  
技術開発係長 不動 雅之

## 1 はじめに

日本海のアホトカ号重油流出事故（写真 - 1）や東京湾のダイヤモンドグレース号原油流出事故に代表される海洋環境を汚染する大規模油流出事故の発生により、沿岸部の住民の生活が脅かされ、貴重な海洋環境が破壊された。

これらの教訓から、工業地帯が点在し多数の船が行き交う瀬戸内海において、油流出事故に対する予防と対策が常に求められている。

万が一、油流出事故が発生した場合は、四国地方整備局や他の地方整備局に配備されている海洋環境整備船等により油回収作業が行われることとなるが、これらの船舶に搭載されている油回収装置は比較的粘度が低い浮遊油を対象としたものであり、海水との作用で高粘度化（写真 - 2）した場合は、油回収効率が低下し、甲板上から柄杓や手網を用いた手作業による回収を強いられるなど、極めて重労働かつ非効率となる。

よって、四国地方整備局では油流出事故に対する危機管理体制の向上を図るため、低粘度から高粘度の油を効率的に回収できるとともに、甲板上、海岸等の様々な環境下へ持ち運び、作業員1人で操作できる小型油回収機を開発したので報告する。



写真 - 1 ナホトカ号重油流出事故  
（出典：海上災害防止センター）



写真 - 2 高粘度化した油

## 2 小型油回収機の概要

### 2.1 油吸引原理

管内に高圧ジェット水流を作用させ、強制的に水流を発生させることで、管内の圧力が低下し、吸引力が発生する。また、浮遊する油層に対して高圧ジェット水を作用させることで、油を破碎し油水混合体が形成される。

これらの2つの現象は高圧ジェット水流の作用時において同時に起こるものであり、油を油水混合体として吸引することで管内壁面の摩擦を最小化し、小規模な動力で効率的に油を輸送することを可能としている。(図 - 1)

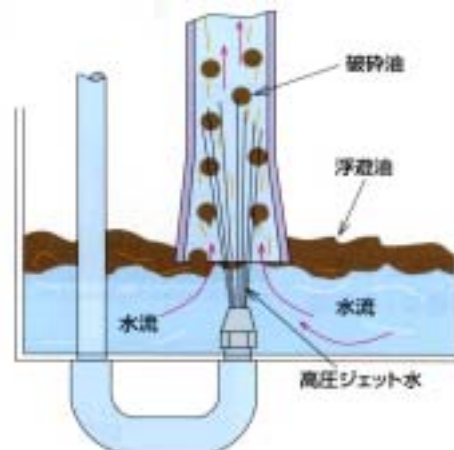


図 - 1 油吸引原理

## 2.2 小型油回収機の基本機構

本油回収機は、主として動力部、油吸引部、油水分離部(油水粗分離器)の3部から構成されている。

(図 - 2)

動力部は、市販のエンジン式高圧駆動水ポンプ(4 MPa以上, 19ℓ/分以上)を用い、様々な環境下へ持ち運ぶことができる。

油吸引部は、動力部から供給される高圧ジェット水流を油吸引部先端から管内へ作用させることで吸引力を得ており、油溜めに溜まった油と水を油水混合体として吸引することで、管内等で閉塞を起こすことなく油を移送する方式にしている。

また、先端部に設けている油溜めは、波浪状況下における油回収に対応させるものであり、油を水面から一端縁切りして吸引する方式となっている。(図 - 3)

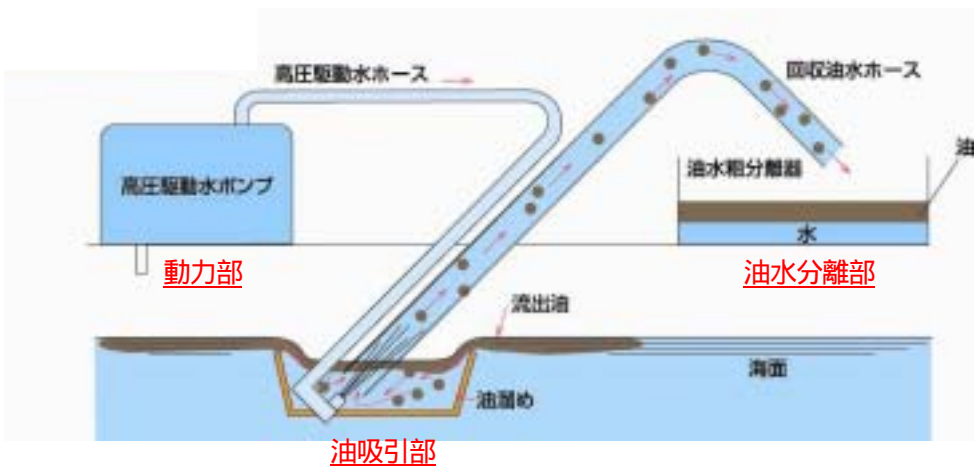


図 - 2 小型油回収機の基本機構

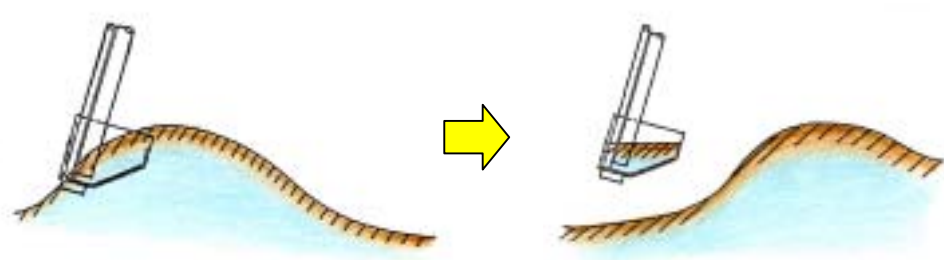


図 - 3 波浪状況下での油溜めを利用した油回収イメージ

油水分離部(油水粗分離器)は、油と水の比重の違いを利用し、水と油を粗分離する方式を用いている。本分離器は、プラスチックコンテナ内に整流板を3層程度設けることで、プラスチックコンテナ内の流れを安定化させ、比重差による油水分離性能を向上させている。(写真 - 3, 図 - 4)

油水粗分離能力としては、約 $5\text{ m}^3$ /時間の油水を分離することが可能であり、粗分離後の排水についても油分濃度約 $0.3\%$ 程度となり、大部分の油を除去できる能力を有している。



写真 - 3 油水粗分離器

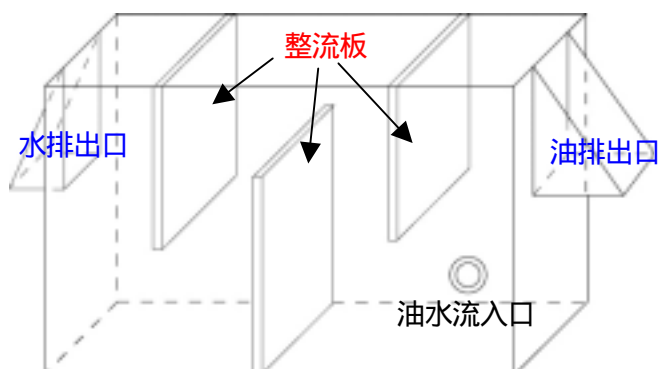


図 - 4 油水粗分離器の内部構造

### 3 小型油回収機の標準仕様及び性能

使用環境に応じて3タイプの小型油回収機(写真 - 4)を製作した。対象とした使用環境は、四国地方整備局内で使用することを前提とし、船舶上(海洋環境整備船、監督測量船)及び海岸としている。以下に、その標準仕様及び性能を示す。

#### 海洋環境整備船搭載用

- ・全 長 3,450 mm
- ・重 量 約5 kg
- ・油回収量 約 $5\text{ ㍓}/30\text{ sec}$  ( 1 )
- ( 実験値 )

- ・対象油粘度 1 ~ 30万 c P ( 2 )
- ・甲板の高さ 約1.5 m

#### 監督測量船用(小型船舶搭載用)

- ・全 長 2,300 mm
- ・重 量 約4 kg
- ・油回収量 約 $10\text{ ㍓}/30\text{ sec}$  ( 1 )
- ( 実験値 )

- ・対象油粘度 1 ~ 30万 c P ( 2 )
- ・甲板の高さ 約0.8 m

#### 海岸用

- ・全 長 1,800 mm
- ・重 量 約3 kg
- ・油回収量 約 $9\text{ ㍓}/30\text{ sec}$  ( 1 )
- ( 実験値 )

- ・対象油粘度 1 ~ 30万 c P ( 2 )



写真 - 4 使用環境別小型油回収機

#### 4 まとめ

本油回収機の特徴について以下にまとめるとともに、作業イメージを図 - 5 に示す。

低粘度から高粘度の幅広い油に対応

高圧ジェット水流を作用させ、水面に浮遊する油層を破碎して油水混合体を形成し、油回収機管内を移送する方式を採用することにより、低粘度から高粘度までの広い範囲の油の回収に対応

波浪中の作業にも対応

貯油機能付き油吸引口（油溜め）を採用することにより、波浪中でも効率よく油回収作業を行うことが可能

作業員の疲労軽減

甲板上からの柄杓や手網を用いた手作業による油回収と比較して、作業員の疲労が大きく軽減

様々な作業環境への適用

作業船の甲板上・岸壁・海岸等の様々な環境へ持ち運びが可能であり、省スペースで容易に設置可能



図 - 5 小型油回収機の作業イメージ

#### 5 おわりに

高圧ジェット水流を用いた新たな吸引方式を用いることにより、従来の油回収方法に比べて格段に油回収能力が向上し、様々な状況下でも用いることができる有用な油回収機を開発することができた。吸引原理については油回収だけでなく、ヘドロの回収やため池のアオコ回収などにも活用が見込まれるものである。

今後は、活用に向け検討を行っていくことが必要であり、その第1ステップとして平成16年11月までに四国地方整備局管内の直轄港湾・空港整備事務所へ配備する予定である。また、上に並行して国、地方公共団体、漁協、民間等へ幅広く情報提供を図り、普及に努めていくこととしている。



# 発泡スチロールを用いた中空橋脚の施工について

紀南河川国道事務所 建設監督官 小野 武

## 1. はじめに

奥瀬道路は、一般国道169号線のうち、和歌山県東牟婁郡北山村から熊野川町までの6.2kmについて権限代行で改築事業を進めている道路である。

平成8年の期区間3.7km供用に続き、平成16年3月には期区間の内0.4kmを供用した。

本報告は、今回の供用開始区間の中にある葛川橋の工事において、施工の省力化を目的として、発泡スチロール型枠を採用したのでその効果を報告する。



写真 1 葛川大橋

## 2. 工事概要

葛川橋は、橋梁上部・下部工の設計と施工をまとめて行う、設計・施工一括発注方式（デザインビルド）を異工種乙型共同企業の形態にて発注した。PC3径間連続箱桁橋梁の下部工を銭高組、上部工をオリエンタル建設が施工を担当し、豊かな自然環境に配慮しながら工事をおこなった。

工事場所：奈良県吉野郡十津川村神下から和歌山県東牟婁郡熊野川町玉置口

工期：平成14年3月16日から平成16年3月10日

工事数量：上部工 PC3径間連続箱桁橋 橋長 L = 160m 付属物 1式

下部工 RC中空柱式橋脚 2基、大口径深礎杭 2基

逆T式橋台 2基、仮設栈橋工 1式、土留工 1式

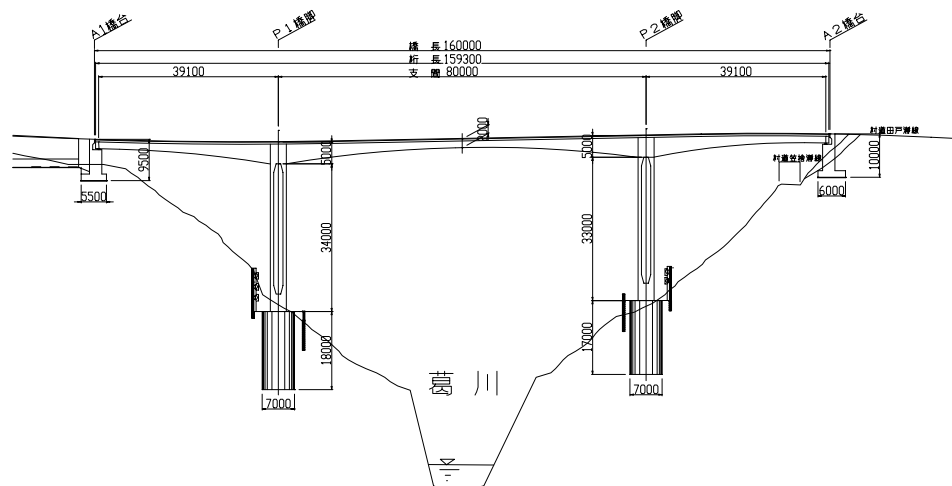


図 - 1 全体図

### 3. EPS工法について

EPS (Expanded Poly-Styrol Construction Method) 工法とは発泡スチロール土木工法で、大型発泡スチロールブロック材料の軽量性、耐圧縮性、耐水性及び積み重ねた場合の自立性等の特徴を利用し、軟弱地盤の盛土、埋め戻しの土工工事に汎用されている。

今回、葛川橋工事の中空橋脚2基の内部にEPS型枠として採用した。EPSブロックが内型枠と内足場の二つの機能を持ち、施工の省力化と内部での作業が安定し安全性を向上できた。

本橋の橋脚は、5.0×3.5の矩形断面で、中間部が3.5×2.0の中空断面となっている。橋脚基部については、充実断面にて設計されており、中間部を中空にすることによって、コンクリート重量を低減し、地震時の慣性力が小さく抑えられるので、設計上有利な構造となる。また、コンクリート量が減少して経済的になる。さらに、マスコンクリートを回避できるので、ひび割れの発生を抑制できる。

中空矩形断面部分の施工方法は、従来工法として、内部に足場を設置し、内型枠を組立、コンクリート打設・養生後、型枠解体、躯体完成時に内部足場を解体撤去していた。今回は中空部に発泡スチロールを設置し、コンクリート打設後も存置しておく施工方法を採用した。

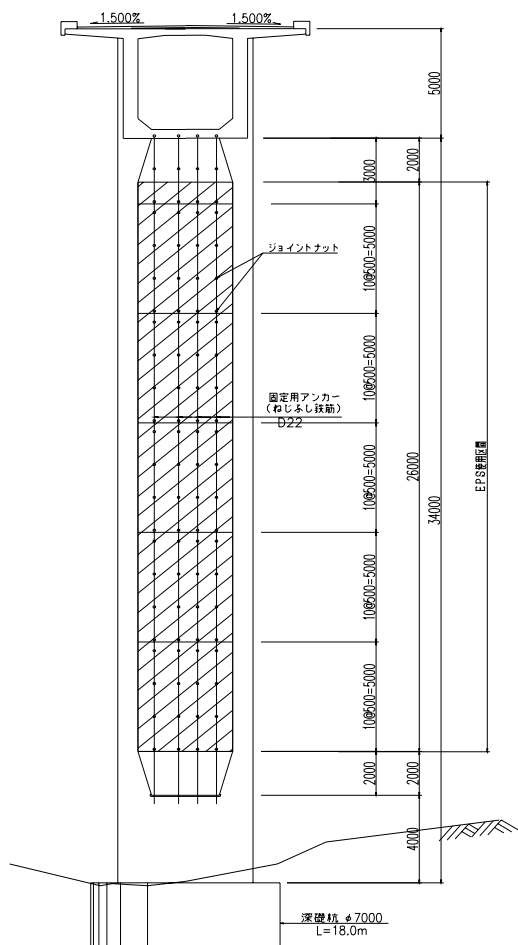


図 - 2 P1橋脚構造図

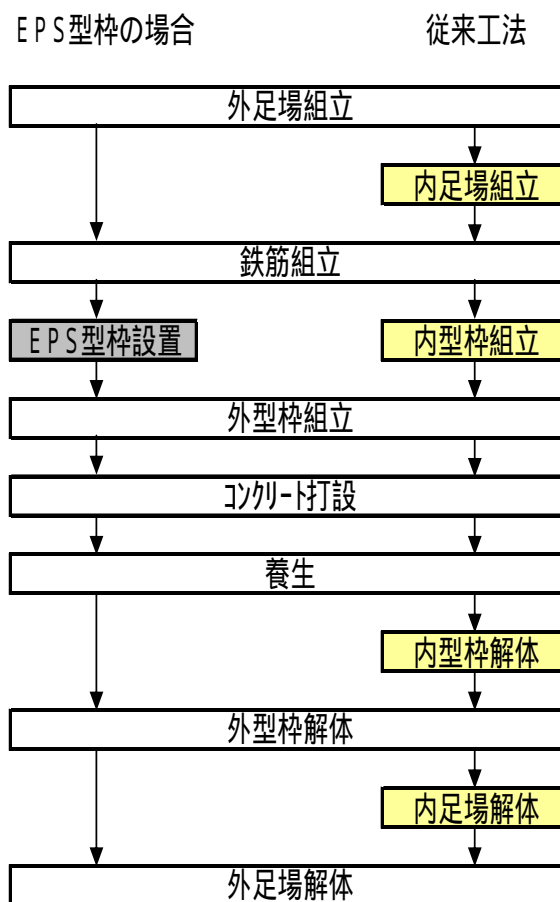


図 - 3 比較フロー図

#### 4 . 施工方法

##### 4 . 1 施工時に工夫した点

現地作業の工程を減らす工夫として、中空橋脚内部に発泡スチロールを設置する作業を事前に仮置場にて大組ブロックとして作成し、矩形断面の形にて、吊り込むことにした。

本橋脚 1 回あたりのコンクリート打設高さを 5 . 0 m と決定した。

発泡スチロール 1 個の高さが 0 . 5 m であり、3 段組 ( H = 1 . 5 m ) × 2 組と 4 段組 ( H = 2 . 0 m ) 1 組の 3 分割の大組ブロックを事前に組み立てて置いた。

現地施工箇所の鉄筋組立後、各大組ブロックをクレーンにて吊り込み、設置工程の短縮を図った。

大組の組立方法は、事前計画において組立用単管パイプの貫通孔 ( 5 0 mm ) 及び型枠組立用セパレーターの配置箇所を検討し、計画図を作成し、工場にて穴あけ・切断加工を行った。

仮置場に搬入した発泡スチロールは、奇数段と偶数段の配置を間違えないように、各個別につけていた記号により、大組ブロックに組上げた。

大組発泡スチロールの段ごとの間には、緊結金具を接触点に配置し、型枠セパレーターと座金をジョイントナットにて、締付け固定した。単管パイプ ( 4 8 . 6 mm ) が貫通孔とほぼ同径であるので、精度よく中空矩形の形を保持することができた。

縦方向の固定は、浮き上がりを防止するため、ねじふし鉄筋 ( D 2 2 ) を 1 リフトのコンクリートにアンカー固定した。段階的に突出量を 1 0 0 mm 程度変化させて、各ねじふし鉄筋の発泡スチロールからの出代に差をつけた。接続長は 1 . 5 m ごとで、ジョイントカップラーを利用して固定をした。

下部ハンチ部分について、軽量骨材 ( 廃ガラスのリサイクル品 ) を使用し、埋め戻しを行った。砂等の使用では、重量が増化するため、比重の小さな材料を選択した。



図 - 4 比較工程表

##### 4 . 2 施工時の注意点

- 1 ) 大組にて吊り込むため、鉄筋等の障害物等周囲に気をつけて、投入させる。
- 2 ) E P S 型枠を偏芯させないように、コンクリート打設高さ、順序を検討する。
- 3 ) 固定アンカー鉄筋の緊結状況を確認
- 4 ) セパレーターのジョイントナットねじ込み量の確認
- 5 ) 緊結金具配置状況を確認



写真 - 2 大組状況



写真 - 3 組立状況

## 5 . コンクリートの養生方法について

過去のEPS型枠施工例から、EPSが詰まったままの橋脚内部では、コンクリート打設後の温度上昇と橋脚外部表面の温度差による温度応力が、ひび割れを発生させるとされている。

事前にコンクリート打設の時期、工程等により橋脚の温度を検討し、コンクリートに悪い影響を及ぼさないように、ひび割れ指数を1.0以上となるコンクリート養生対策を含め検討した。

### 5 . 1 コンクリート養生の対策

- 1) コンクリート打設後、型枠の外周をシートで覆う
- 2) 型枠脱枠後も表面をシートで覆う
- 3) コンクリート養生期間、EPS型枠内に注水し、コンクリート温度を下げる。
- 4) コンクリート打ち上がり高さを時間当たり、1.0～1.3m程度とし、コンクリート温度の上昇を抑制する。
- 5) コンクリート打設時間帯は、気温の高い日中を避け、コンクリート温度の上昇を抑制する。

施工期間中、橋脚内部の温度を計測し、シミュレーションを検証した。

結果は、検討値とほぼ合致しており、ひび割れの発生は無かった。

## 6 . まとめ

中空橋脚の内部にEPS型枠を使用することにより足場の安定感が増し、作業効率があがる。EPS型枠は内部に存置したままで、型枠解体、足場解体が不要となり省力化できる。工程の短縮が可能となる。

経済性について、発泡スチロールの材料・加工費が、従来工法と比較すると3割程度割高となったが、工程の短縮や省力化を考慮すれば、今回の橋脚高さや規模において、従来工法との差は殆んどなかった。

今後の改善点としては、発泡スチロールの加工費等コスト改善ができれば、多様な断面にも適用できると思う。また、コンクリート温度を発散できる形状等考案されれば、構造物への汎用ができると思う。

# 軟弱地盤における複合地盤杭の設計

北海道開発局 札幌開発建設部 千歳道路事務所 工事課 細矢 武司

## 1. はじめに

軟弱地盤中の杭頭部周辺に深層混合処理工法による複合地盤を形成し、改良した増加地盤強度を杭の水平抵抗に反映させる設計法を検討した。以下、複合地盤中に施工する杭を複合地盤杭<sup>1)</sup>と呼ぶこととする。本手法は、杭諸元が水平抵抗で決定する軟弱地盤の現場条件では、建設コストの縮減が可能となる合理的な設計法である。

本論文では、北海道の泥炭性軟弱地盤の橋梁基礎に採用した複合地盤杭工法の設計法の実用性について報告する。複合地盤杭設計法の妥当性は、静的には実杭の水平載荷試験、耐震性は応答変位法によって検証した。

## 2. 複合地盤杭の設計手法

### 2.1 複合地盤の基本的考え方

複合地盤杭工法の基本的な設計法を示す。杭頭部周辺に施工する深層混合処理工法は、セメント系の安定材を所要の深さまで強制混合することで改良柱を造成し、柱体間の原地盤と合わせて複合地盤を形成するものである<sup>2)</sup>。その際、複合地盤のせん断強度  $C$  は、改良柱体と原地盤の改良率  $ap$  で合成され、(1)式で算定される。

$$C = C_p \cdot ap + s \cdot C_o (1 - ap) \quad [C_p = qup/2, C_o = quo/2, ap = A_p/A] \quad (1)$$

ここに、 $C$ ：複合地盤のせん断強度(kN/m<sup>2</sup>)、 $C_p$ ：改良柱のせん断強度(kN/m<sup>2</sup>)、 $C_o$ ：原地盤のせん断強度(kN/m<sup>2</sup>)、 $s$ ：破壊ひずみ低減率、 $ap$ ：地盤改良率、 $qup$ ：改良柱体の一軸圧縮強度(kN/m<sup>2</sup>)、 $quo$ ：原地盤の一軸圧縮強度(kN/m<sup>2</sup>)、 $A_p$ ：改良柱体の断面積(m<sup>2</sup>)、 $A$ ：改良柱体一本当りの分布面積(m<sup>2</sup>)である。

### 2.2 複合地盤杭の水平地盤反力

深層混合処理工法で軟弱地盤中に形成された改良柱体の変形係数  $E_p$  は、一軸圧縮強度  $qup$  と比例関係(粘性土  $E_p=100qup$ )にある。これに加えて、改良柱体のせん断強度  $C_p$  と一軸圧縮強度  $qup$  の関係(粘性土  $C_p=qup/2$ )から、改良柱体の変形係数  $E_p$  とせん断強度の関係( $E_p=200C_p$ )が推定できる。そのため、複合地盤杭設計で用いる変形係数  $E_c$  についても複合地盤のせん断強度  $C$  を求める際の考え方が適用でき(2)式で整理される。

$$E_c = E_p \cdot ap + s \cdot E_o (1 - ap) \quad (2)$$

ここに、 $E_c$ ：複合地盤の変形係数(kN/m<sup>3</sup>)、 $E_p$ ：改良柱体の変形係数(kN/m<sup>3</sup>)、 $E_o$ ：原地盤の変形係数(kN/m<sup>3</sup>)である。その結果、複合地盤杭の水平方向地盤反力係数  $k$  値は複合地盤の変形係数  $E_c$  から(3)式<sup>3)</sup>で算定される。

$$k = (\alpha \cdot E_c / 0.3) \cdot [ (D / \alpha) \cdot (1 / 0.3) ]^{-3/4} \quad (3)$$

ここに、 $k$ ：複合地盤杭の水平地盤反力係数(kN/m<sup>3</sup>)、 $E_c$ ：複合地盤の変形係数(kN/m<sup>3</sup>)、 $\alpha$ ：水平地盤反力推定係数、 $D$ ：杭径(m)、 $\beta$ ：特性値<sup>4)</sup>  $(kD)/4EI$  (m<sup>-1</sup>)、 $E$ ：杭のヤング係数(kN/m<sup>2</sup>)、 $I$ ：杭の断面二次モーメント(m<sup>4</sup>)である。ただし、杭の特性値  $\beta$  は杭変位量により変化するため、基準変位量<sup>3)</sup> (杭径1%)に対する値とする。

### 2.3 杭水平抵抗の影響範囲と必要改良領域

複合地盤杭工法の必要改良領域を設定する。杭の水平抵抗は作用力に対し釣合い状態にある地盤反力であり、水平方向に圧縮された地盤土圧は極限平衡状態を保つと考えられる<sup>4)</sup>。そのため、複合地盤杭の水平抵抗の影響範囲すなわち地盤改良の必要領域を図-1に示す杭の特性長  $1/\beta$  から受働土圧の作用勾配  $\theta = (45^\circ + \phi/2)$  ( $\phi$ : 土のせん断抵抗角) で立ち上げた3次元の四角形状とする。このときのせん断抵抗角  $\phi$  は、深層混合処理工法の配合強度や改良される地盤の性状により異なるため、改良範囲の設定は地盤改良前の原地盤のせん断抵抗角より決定する。

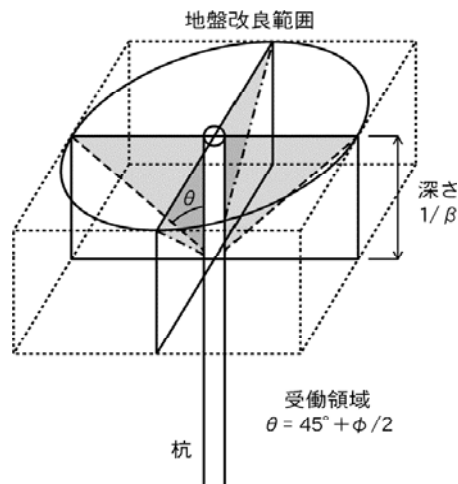


図-1 複合地盤杭の水平抵抗範囲

### 3. 複合地盤杭工法の現場採用事例

北海道において複合地盤杭工法を用いた橋梁は、北海道開発局 札幌開発建設部管内道央圏連絡道路 篠津川橋 (橋長  $L=57.6\text{m}$ ) である。当該土質柱状は、深さ約  $40\text{m}$  の洪積砂質土支持層まで  $N=0 \sim 10$  程度の泥炭層および沖積粘性土層が深く連続する泥炭性軟弱地盤である。

当該橋梁において、A1・A2 橋台基礎で設定した設計法に従い複合地盤杭工法を採用した。図-2に、複合地盤杭工法 (深層混合処理工+場所打ち杭) の設計ケースを従来工法 (EPS+鋼管杭) の設計ケースと対比して示した。

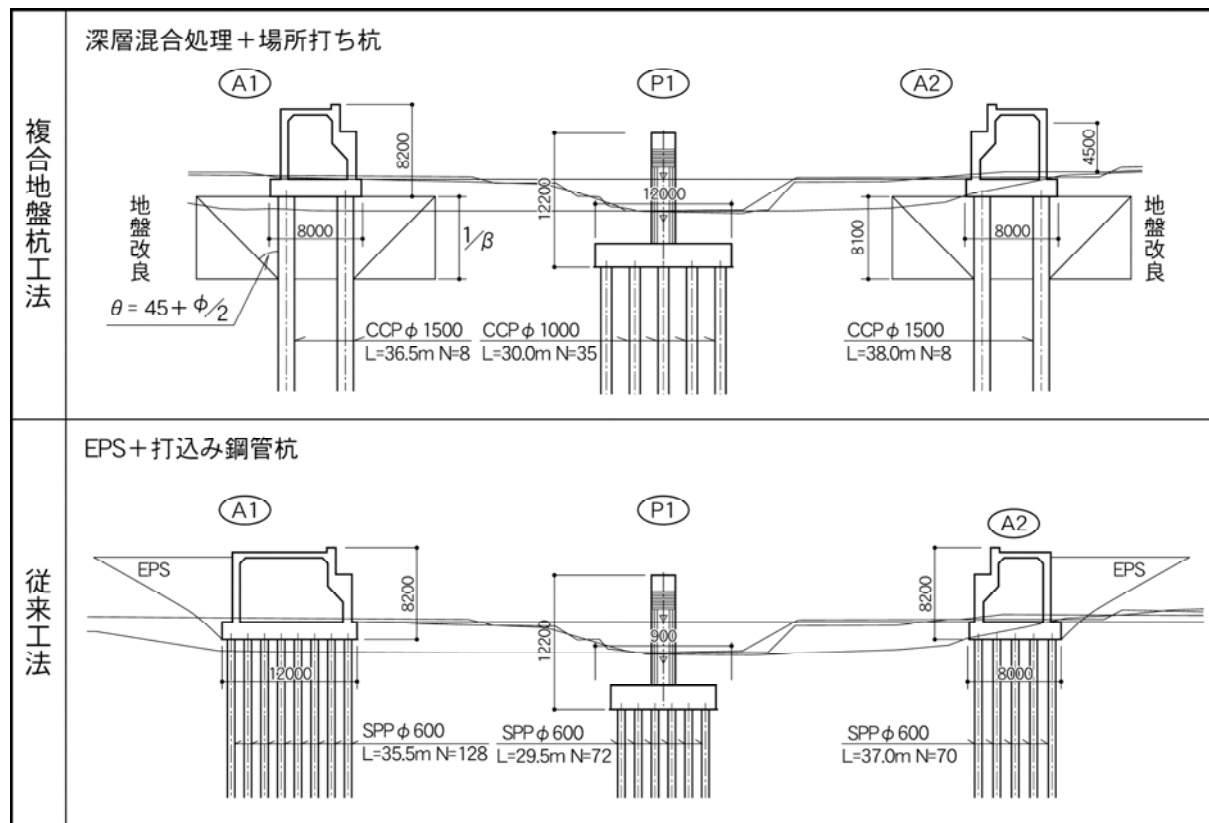


図-2 複合地盤杭工法と従来工法の基礎形式の検討

その結果、本橋梁に複合地盤杭工法を採用することで、従来工法に対し杭本数を少なくし、躯体の縮小化が可能なことから、総計で約 20 % (工事費 5000 万円) の建設コスト縮減効果が得られた。

#### 4 . 現場杭水平載荷試験の検証

複合地盤杭設計法の妥当性を検証するため、同工法を採用した篠津川橋 A1 橋台場所打ち杭 ( 1500mm, 杭長 L=37.0m) において杭水平載荷試験を実施した。試験法は、地盤工学会基準<sup>5)</sup>に準拠した荷重制御による多サイクル方式の静的正負交番載荷法とした。複合地盤杭の設計地盤変形係数  $E_o$  は、改良柱の設計基準強度  $qu=200\text{kN/m}^2$  および改良率 78.5% から  $E_o=15700\text{kN/m}^2$  である。この  $E_o$  は換算 N 値=22 程度に相当し、設計水平地盤反力係数  $K$  値  $=81400\text{kN/m}^3$  に設定される。

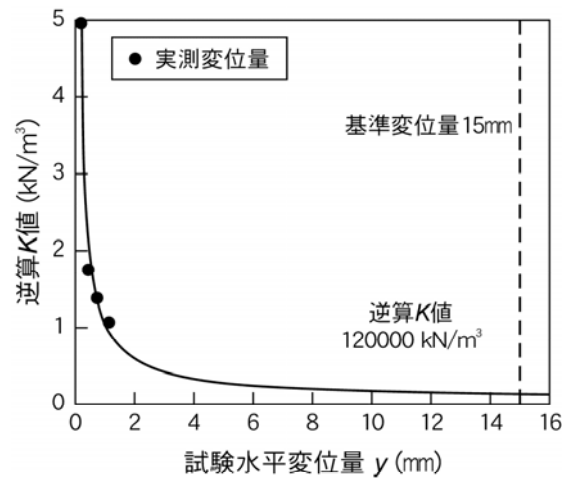


図 - 3 試験水平変位量  $y$  ~ 逆算  $K$  値の関係

水平載荷試験の水平荷重  $H$  ~ 杭変位量  $y$  関係から、(4) 式で示した線形弾性地盤反力法<sup>3)</sup>により算定した各変位レベルの水平地盤反力係数  $K$  値 ( 逆算  $K$  値 ) を図 - 3 に示した。

$$y = H \cdot [(1 + \frac{h}{D})^3 + 1/2] / (3EI) \quad (4)$$

ここに、 $h$ : 突出長 (mm)、 $y$ : 杭変位量 (mm)、 $H$ : 水平荷重 (N)、 $D$ : 杭径 (mm)、 $E$ : 杭ヤング係数 ( $\text{N/mm}^2$ )、 $I$ : 杭断面二次モーメント ( $\text{mm}^4$ ) である。実測値以上の杭変位量は指数曲線から判定した。試算の結果、水平載荷試験による杭径 1% 基準変位量に相当する実測水平地盤反力係数  $KI$  値は、設計  $K$  値に対し約 1.5 倍 ( 実測値  $KI=120000\text{kN/m}^3$  / 設計  $K$  値  $=81400\text{kN/m}^3$  ) の  $KI=120000\text{kN/m}^3$  と算定された。この実測水平地盤反力係数  $KI$  値を変位法 ( レベル 1 震度法 ) 計算にフィードバックし、基礎全体の安定性を照査した。この結果、地盤反力が比較的大きく確保されたため、橋台基礎杭の応力・反力・変位とも設計値に対し安全側となり、橋台の安定が確認された。この実杭の水平載荷試験結果により、複合地盤杭設計法の静的レベルにおける妥当性が概ね検証されたものとする。

#### 5 . 複合地盤杭の耐震性評価

複合地盤杭工法では、杭頭部の改良体が未改良原地盤に対して強度の大きい人工地盤となるため、震度法以外に地盤変形を考慮した応答変位法解析<sup>6)</sup>による杭の耐震性の検討を実施した。その際、地震時の杭周辺の地盤変形に伴う、強度差をもつ複合地盤と原地盤の境界部およびそれ以深の杭応力に注目した。

応答変位法解析の入力地震動は、レベル 2 タイプ ( 兵庫県南部地震記録 ) の地震動より求めた。また、せん断弾性波速度  $V_s$  は、地盤種別の  $M$  値から換算し設定した。解析の結果得られた、地盤の最大応答変位時に発現する A 1 橋台前杭および後杭の最大曲げモーメント分布を図 - 4 に示す。杭体曲げモーメントは、改良体内では拘束され過小値で

あるが、深さ約17m 位置で比較的大きな曲げモーメントが杭に発現した。この値は、ひびわれ曲げモーメントを超えるものであるが、降伏および終局曲げモーメント以下である。そのため、場所打ち杭の耐震強度は鉄筋量や断面変化位置の検討により確保した。当該現場での耐震性の検証より、複合地盤杭の地震時の杭応力は概ね問題ないと考えられた。ただし、対象とする地震動レベルや地盤条件によっては地中部の杭応力増加の懸念があることから、同工法を採用する場合、現場条件に応じた詳細な耐震性の照査が必要と考えられる。

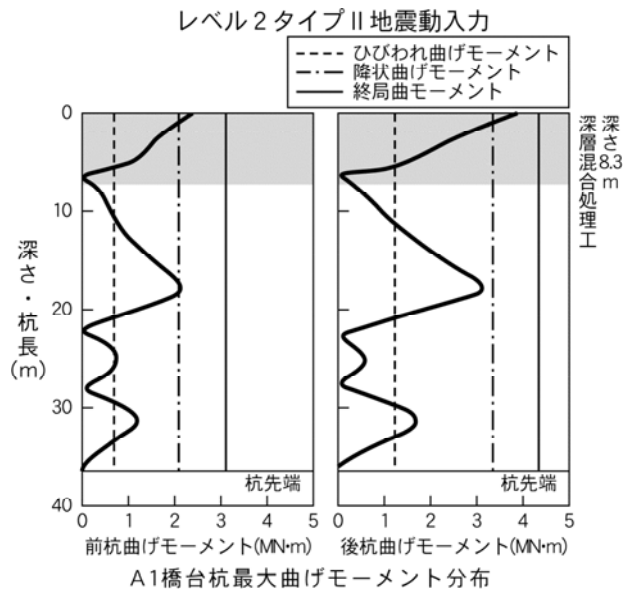


図 - 4 応答変位法による杭曲げモーメント分布

## 6 . 結論

本報では軟弱地盤における複合地盤杭の設計法の考え方を示し、静的・動的レベルの設計法の妥当性および実用性を検討した。検証結果より、以下の知見が得られた。

軟弱地盤中の杭頭部周辺に深層混合処理工法による複合地盤を形成し、改良した増加地盤強度を杭の水平抵抗に反映させる複合地盤杭工法は、杭諸元が水平抵抗で決定する現場条件では建設コスト縮減が可能な合理的設計法である。

複合地盤杭設計法は、現行設計法に則り、地盤改良範囲を杭特性長  $1/$  から受働土圧の作用勾配  $= (45^\circ + \quad / 2)$  で立ち上げた 3 次元の四角形状領域とし、杭水平地盤反力は改良強度のせん断強度  $C$  から改良率  $ap$  で換算し設定される。

複合地盤杭の水平地盤反力は、実杭の水平載荷試験の検討より、静的レベルにおける設定した設計法の妥当性が検証された。

複合地盤杭の応答変位法による検討の結果、地震時の杭体応力は地中部で増加傾向を示したが降伏値以下であり耐震性は概ね問題ない。ただし、現場条件に応じて地震時の照査を行い、杭の耐震性を確保させる必要がある。

一連の検討の結果、複合地盤杭工法の有用性が確認された。今後、現場試験や数値解析のデータ蓄積から、現場条件に応じた合理的な手法として補完していく考えである。

## 参考文献

- 1). 富澤幸一・西川純一：改良地盤中に施工した複合地盤杭の実用設計法、第 5 回地盤改良シンポジウム 2002.11.
- 2). (財) 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル、pp.48-148,1999.
- 3). (社) 日本道路協会：道路橋示方書 下部構造編、pp.254-397,2002.
- 4). 山口柏樹：最上編 土質力学、pp.868-870,1969.
- 5). (社) 地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説、pp.21-34,1993.
- 6). (社) 日本道路協会：道路橋示方書 耐震設計編、pp.48-118,2002.



# ワイヤネット工による砂礫型土石流の捕捉効果

立山砂防事務所 水谷出張所 平井 謙蔵

まえがき

ワイヤネット工は、現況の溪床状況を維持しつつ、短期間で、しかも低コストで施工が可能な土石流捕捉工として開発された。当事務所では平成 14 年度、常願寺川の源流部に位置する立山カルデラの多枝原谷<sup>だしわらだに</sup>にワイヤネット工を設置し、下流の砂防工事用道路の安全確保に努めていたところ、翌年 8 月に発生した土石流を捕捉し、人的被害はもとより、工事用道路の損傷を免れることができた。

本報告は、監視カメラで捉えた土石流や、捕捉後に実施した堆積物調査等の結果から、土石流の性状を明らかにするとともに、ワイヤネット工による土石流の捕捉効果や課題について考察したものである。

## 1. ワイヤネット工の概要

### 1.1 ワイヤネット工の設置

ワイヤネット工を設置した多枝原谷は、飛越地震（1858 年）によって大規模な山体崩壊を起こした<sup>とんびくずれ</sup>鳶崩れを源頭部にもつ流域面積  $0.85\text{km}^2$ 、平均溪床勾配  $1/6$  の荒廃溪流であり、毎年のように土石流が発生している。多枝原谷には、多枝原谷より以奥の砂防工事を施工するための工事用道路が渡河しており、降雨時（時間雨量  $20\text{mm}$  または連続雨量  $50\text{mm}$  を越えた場合）や、溪流に設置しているワイヤセンサが切断された場合には、通行止めの措置を講じていたが、より高い安全性の確保と、工事用道路の被害軽減をはかるため、工事用道路から  $80\text{m}$  上流の土石流流下域にワイヤネット工を設置した。



写真-1 ワイヤネット工の設置

### 1.2 ワイヤネット工の構造

図-1にワイヤネット工の一般図を示す。基本構造は、設置箇所<sup>1</sup>の谷形状や想定される土石流の規模等に基づき、有効高  $3.5\text{m}$ 、主索幅約  $28\text{m}$ 、ネット幅約  $17\text{m}$ 、リング径  $1.0\text{m}$  とした。設計外力は、堆砂面から下部に堆砂圧を、堆砂面から上部に土石流流体力を与え、主索、吊索、リングネット等の各部材の必要強度を算定し、部材仕様を決定した。

## 2. 土石流の発生誘因と性状

平成15年8月26日17時15分ころ、ワイヤネット工の上流950m地点に設置しているワイヤセンサが切断され、連動している土石流警報装置が作動した。

### 2.1 土石流の発生誘因（降雨状況）

常願寺川上流部の雨量観測所の位置を図-2に示す。土石流発生前後の累計降水量と10分間降水量は図-3および図-4のとおりであった。

8月26日16時～17時の時間雨量は、多枝原上流雨量観測所で3mm、多枝原谷の源頭部に位置する標高2,530mの五色ヶ原雨量観測所で1mmを観測し、多枝原谷周辺では目立った降雨がなかった。その後の17時～18時には多枝原上流で38mm、五色ヶ原で42mmを記録し、他の雨量観測所では15mm以下であったことから、多枝原谷流域周辺で局所的集中豪雨があったものと推察される。

さらに、10分間降水量でみると、17時0～10分間に多枝原上流で15.5mm、五色ヶ原で10mm、17時10～20分間には多枝原上流で7.5mm、五色ヶ原で13mmを記録しており、この時間帯の降雨が誘因となって土石流が発生したものと考えられる。

### 2.2 土石流の性状

土石流の捕捉過程については、ワイヤネット工の下流右岸に設置している監視カメラで捉えられ、土石流の性状について以下の知見を得ることができた。

- ① 土石流の流下に先行して、河道埋塞等による流量の減少が確認されていないことから、溪流不安定土砂や溪岸浸食によって生産された土石が、洪水流に巻き込まれながら流下したものと考えられる。

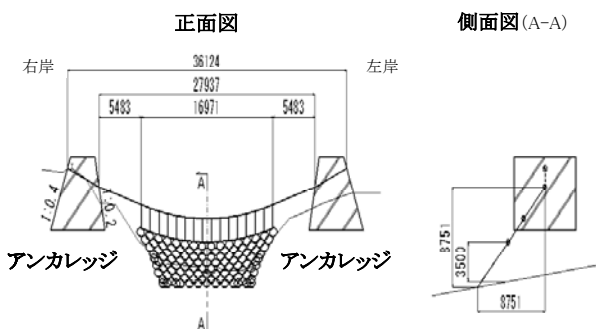


図-1 ワイヤネット工の構造

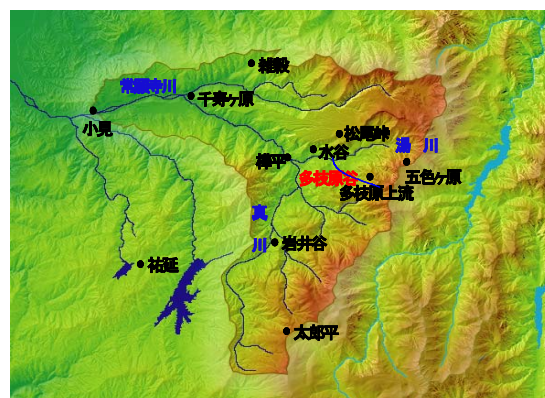


図-2 雨量観測所の位置

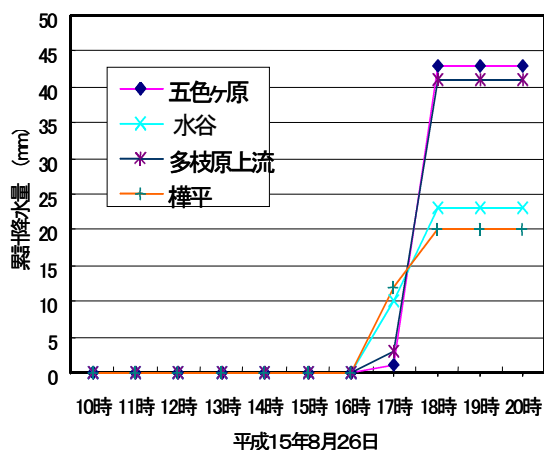


図-3 累計降水量

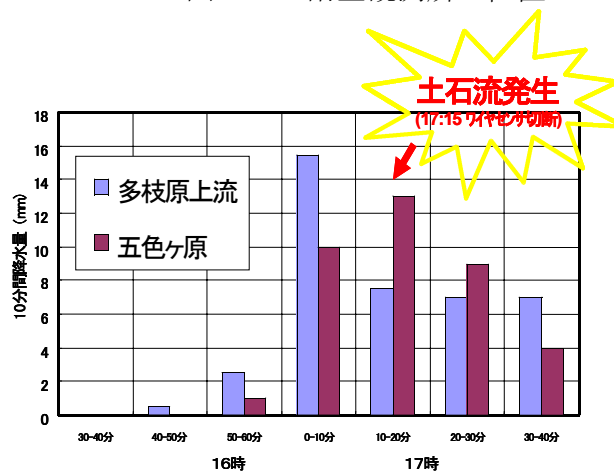


図-4 10分間降水量

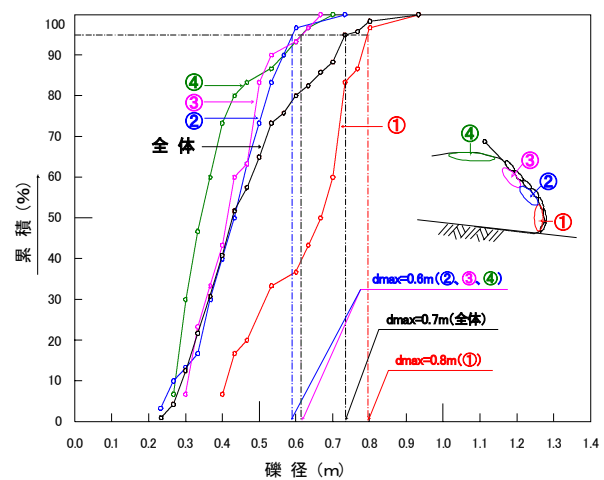
- ② 土石流は、高濃度の土石流体として連続的に流下する砂礫型土石流に分類される。
- ③ 土石流に顕著なフロント部（段波部）は観測されなかった。最大波高を吊索間隔 1.1m から推定すると、設計時想定の 1m 程度であった。
- ④ 流下した土石流は、ワイヤネット工に捕捉されることによって、土石と流水とに分離され、急速にその勢いが殺がれた。
- ⑤ 土石流は、河道中央部が盛り上がった状態で堆積し、土石流末期の流水は河道の兩岸を流下した。
- ⑥ 多枝原谷を流下した土石流は、ワイヤセンサーが切断された 4 分後の 17 時 19 分ころにワイヤネット工に達したと目すと、その流下速度は毎秒 4.0m 程度（時速 14km）と類推され、設計流速に近似していた。土石流の流下継続時間は 10 分間程であった。

### 3. 土石流堆積物調査

ワイヤネット工による土石流の捕捉状況を写真－2 に示す。ワイヤネット工は満砂状態になり、測量の結果、捕捉した土石は約 3,800m<sup>3</sup>であった。図－5 はワイヤネット工に捕捉された土石流の表層礫の粒度分布である。同図から、捕捉最下段の先端に位置する①の巨礫の最大礫径（95 %礫径）は  $d_{max} = 0.8m$  で、設計時想定礫径（ $d_{max} = 0.8m$ ）と同程度であり、②～④の  $d_{max} = 0.6m$  より大きく、土石流発生初期は後続の土石流に比べて礫径が大きいことがわかった。



写真－2 先端部での捕捉状況



図－5 先端部の粒度分布

### 4. 土石流の捕捉効果と課題

#### 4.1 捕捉効果

写真－3 にワイヤネット工による土石流の捕捉前後の状況を示す。

今回の土石流では、ワイヤネット工がほぼ満砂状態になり、ワイヤネット工からの溢流や透過、ネット部からの抜け出しはわずかであり、ワイヤネット工にも大きな損傷がなかった。また、ワイヤネット工設置後の 10 箇月間の小出水で流出した土砂は、ワイヤネット工に捕捉されることなく下流に流下し、土石流捕捉用の空容量は常時確保され、流れの連続性も確保されていた。



捕捉前



捕捉後

写真－3 土石流の捕捉前後

#### 4.2 多枝原谷におけるワイヤネット工の課題

今回の土石流で、以下のような課題が明らかになった。

- ① アンカレッジそのものに異常は観られなかったものの、捕捉した土石流の負荷で下流に膨らんだワイヤネット工とアンカレッジとの間に隙間が生じ、溪岸部が洗掘された(写真－4)。今後、アンカレッジ前面の洗掘防止対策を講じる必要がある。



写真－4 アンカレッジ  
前面の洗掘状況

- ② 満砂状態のまま放置し、次期出水時に同様な土石流が発生すると、土石流はワイヤネット工を溢流し、砂防工事の工程等に影響をおよぼすことから、捕捉土砂は早急に取り除くこととした。除石作業は、ワイヤネット工の上流側からバックホウ(0.6m<sup>3</sup>)を用いて行ったところ、3,250m<sup>3</sup>(捕捉土砂の85%)はネットを取り外すことなく除石できたが、ネットの先端部に捕捉されている残り15%の巨礫群は、重機のアームがネットに接触し、除石することができなかった。小型バックホウの導入も検討したが、負荷の低減によるネットの跳ね返りが懸念され、安全管理の面から断念した。ワイヤネット工の形状は、除石後においても取り残した巨礫の重さで孕んだままとなっており、今後、ワイヤネット工への負荷を軽減するとともに、最大限の空き容量確保や土石流捕捉時における衝撃力緩和の点から、さらに除石率を上げる方策を検討する必要がある。

#### あとがき

今回発生した土石流をカメラ映像で捉えたり、またワイヤネット工で捕捉したことにより、今まで知られていなかった多枝原谷の土石流の性状が明らかとなり、今後の砂防施設設計や、砂防工事の安全確保に役立つものと期待している。また、ワイヤネット工が土石流を捕捉し、その効果が実証されたが、溪岸部の洗掘や除石方法など、検討すべき課題も残った。今後は工夫を施し、ワイヤネット工の有用性を活かしていきたいと考えている。

本報告をまとめるにあたっては、ワイヤネット工開発メーカーの協力を得ている。深謝する。

# 小規模橋梁メンテナンスにおけるシステム評価

山口河川国道事務所 道路管理第二課 田中 栄

## 1、はじめに

高度成長期に大量に整備された公共施設の老朽化が進みつつあり、維持修繕費の効率的執行が求められている現在、従来の事後保全的な管理方法では、適正な執行が困難になりつつあることから、近年アセットマネジメントが提唱されている。

山口河川国道事務所は、国道の管理区間延長約450km、道路管理の出張所の数が6出張所と、全国一長い管理延長を有する事務所であり、道路構造物の中長期的維持管理計画（構造物の劣化度に応じた効率的補修計画の作成、トータルコストを考えた補修計画の作成）の必要性を前提にシステム設計に着手している。

## 2、システム設計の現状と今後の予定

システムとしては、函渠（ボックスカルバート）15m以下の橋梁の2つであり、平成12年度より、学識経験者を交えた「システム検討会」において検討を重ねてきており、については、平成14年完成し中長期的維持管理計画に利用している。については、平成15年度から検討を行い、平成16年度の完成を目標に現在、鋭意設計検討中である。

## 3、橋梁システムの概要について

構造物の劣化は、潜伏期～劣化期を時間の経過とともに劣化していく。本システムは、最初に時間と劣化度の関係を予測する。ここで、構造物の劣化の予測とは、材料劣化（中性化・塩害）と疲労劣化の2つである。

材料劣化の予測では、鉄筋のかぶり厚さ・環境から鉄筋腐食（有効断面積の減少）と経過時間の関係を算出する。疲労劣化では、路線毎に測定した軸重計を用いて耐荷性の減少と経過時間の関係を算出する。

次に、劣化毎の補修方法と工事費の算出を行い、補修・補強後残存耐用期間・補修工事費を評価しライフサイクルコストを計算する。また、補修・補強を先送りした場合の増額金をコストとして評価する。さらに、点検時・詳細設計時での劣化曲線の回帰も適宜行う。

橋梁システムとしては、材料劣化と疲労劣化の2つが予測項目であるが、BOXシステムは材料劣化のみが予測項目である。

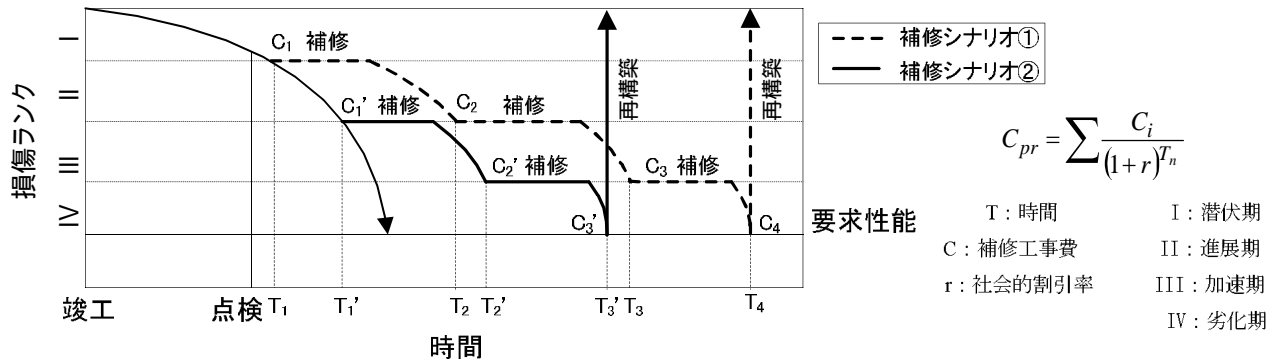


図 - 1 橋梁システムの概要 ( 1 )

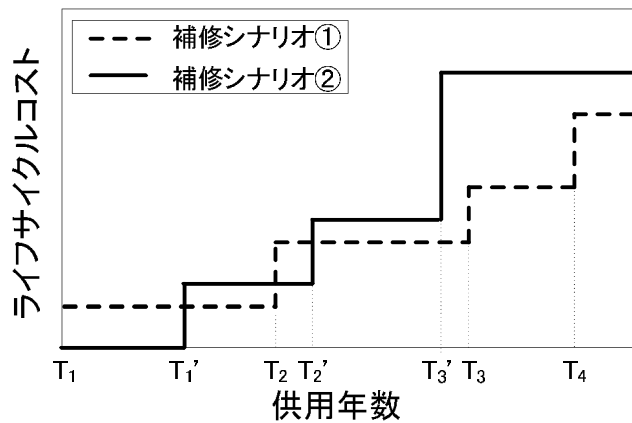


図 - 2 橋梁システムの概要 ( 2 )

#### 4、橋梁 ( 15 m以下 ) の現況について

##### 4 . 1、管内施設竣工年次

橋梁の数としては、管内で約 5 0 0 橋であり、竣工年度としては、1 9 5 0 年 ~ 1 9 6 0 年の竣工年次が最も多い。( 図 - 3 )

##### 4 . 2、管内施設構造形式

コンクリート床版橋が約 6 0 %、プレテン床版橋が約 2 0 %、コンクリート T 桁橋 が約 1 0 %、その他鋼桁は数% ( 1 0 橋 ) である。

##### 4 . 3、管内施設交通量 ( H11 道路センサスより )

橋梁の耐用年数を算定する際、交通量が大きなパラメーターとなるが、センサス調査結果によると ( 図 - 4 ) 管内 1 車線あたりの交通量は、15,000 台 / 日を超える重交通もある。

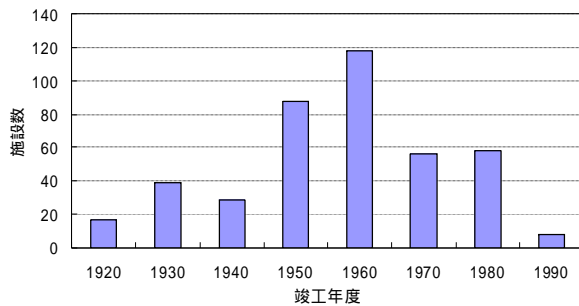


図 - 3 管内年代別施設数

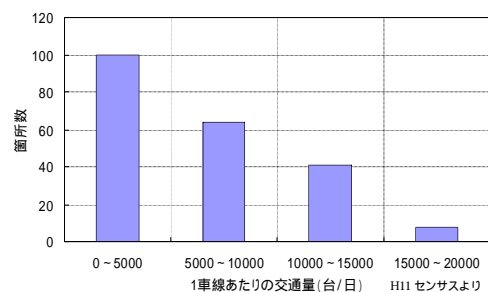


図 - 4 管内 1 車線あたり交通量

## 5、劣化予測

### 5.1、システム設計の前提

- 1) 劣化予測は、上部工のみを対象とした。文献1によると、損傷が原因である橋梁の架替は、上部工の損傷が大半を占めていることによる。
- 2) 橋梁の耐用年数を100年として設定した。これは、補修方法について現実的な補修工法を選定しようとしたことによる。

### 5.2、予測方法について

- 1) 材料劣化（中性化、塩害）については、潜伏期・進展期の予測と加速期・劣化期の予測の2つに分かれる。潜伏期・進展期の予測は、塩害地区とそれ以外の地区（中性化）で異なった予測式で計算を行う。また、加速期・劣化期の予測については、同じ予測式で計算を行い、最終的には、潜伏期～劣化期について1つの式（4次曲線）となるように回帰を行う。
- 2) 疲労劣化（押し抜きせん断、鉄筋疲労、鋼材疲労）について、対象橋梁の軸重を設定し疲労回数、耐用年数を算定する。押し抜きせん断疲労予測は、輪荷重載荷試験機による押し抜きせん断疲労実験で得られる床版のS-N関係式を用いることとした。鉄筋の疲労・鋼桁の疲労については、変動下での疲労寿命を推定する方法であるマイナーの線形累積被害則によるものとした。

### 5.3、検証結果

上記の予測方法をもとに、施工年代（床版厚、w/c）、設計荷重、1車線あたりの交通量（5,000台/日～20,000台/日）、環境（塩害地区）などの諸条件を各場合ごとに100年程度の供用期間でのトライアル計算を行い、予測評価できるのか、又、必要なかの検証を行った結果を下記に示す。

ここで、押し抜きせん断については、劣化の度合いについて数値化する必要があるが、ひび割れ密度で評価することとした。又、鉄筋疲労については、定期点検時に劣化の度合いを数値化することが困難であるものの、計算結果をもとに点検を行うこととした。さらに、鋼桁疲労について計算結果から、主桁についてはほとんど問題ないものの、副部材については損傷しやすい傾向にあるが、補修は軽微であるためLCC評価は行わず、計算結果をもとに点検を行うこととした。

表 - 1 施設の評価方針

構造種別	予測種別	予測項目	対応方針
RC・PC 橋 鋼橋 RC 床版	材料劣化	中性化・塩害	予測評価を行い、LCC 評価を行う
	疲労劣化	押し抜きせん断	予測評価を行い、LCC 評価を行う
鉄筋疲労		予測評価・点検のみ行う	
鋼橋	疲労劣化	鋼桁疲労	予測評価・点検のみ行う

## 6、補修シナリオの作成

補修シナリオについては、実績や実験結果による補修の耐用年数を決定したあと、補修工事費との関係で投資効果があるかどうかの判断を行って標準補修シナリオを下記のとおり作成した。（図 - 1、図 - 2 参照）

表 - 2 補修・補強のシナリオ（材料劣化）

No	劣化時期	補修・補強工法	耐用年数
1	潜伏期	予防的表面処理を行う	10年
2	進展期	ひびわれ注入・表面処理を行う	10年
3	加速期	部分的断面補修	10年
4	加速期	広範囲な断面補修	10年
5	劣化期	炭素繊維接着工法	30年

表 - 2 補修・補強のシナリオ（疲労劣化）

No	劣化時期	補修・補強工法	耐用年数
1	潜伏期	-	-
2	進展期	-	-
3	加速期	炭素繊維接着工法	供用期間内
4	加速期	床版打ち換え	供用期間内

## 7、今後の予定・問題点

橋梁システムの今後の予定を以下に示す。

- 1) 軸重測定の実績データが不足しているため追加測定を行う。
- 2) 塩害の影響について、現地測定が不足しているため追加測定を行う。
- 3) 定期点検の実績データをシステム入力し、予測計算との比較検討を行う。

BOXシステム・橋梁システムの問題点を以下に示す。

- 1) 本システムは、社会的割引率から現在価値を算出しトータルコストを算出しているが、投資金額 / 供用期間の算出方法もあり今後の検討課題である。
- 2) システム構築後毎年データを更新する必要があるが、システム管理者の十分な理解が必要となる。それについては、現在マニュアル作成中である。

- \* 文献1 橋梁の架替に関する調査結果 (III) 土木研究所  
 文献2 コンクリート標準示方書「維持管理編」 土木学会  
 文献3 コンクリート標準示方書「維持管理編 制定資料」土木学会  
 文献4 コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告  
 日本コンクリート工学協会  
 文献5 小林、鉄筋腐食の診断、コンクリート構造物の耐久性シリーズ  
 文献6 友澤、有限要素法による鉄筋の腐食した RC 梁の鉄筋の腐食による  
 耐久性評価、コンクリート工学年次論文発表会 VOL.19.NO.1.1997  
 文献7 鋼道路橋の疲労設計指針 日本道路協会



自航式ロボットを活用した栈橋式係船岸点検システムの開発について  
 ~ 点検作業の安全性向上、効率化への取り組み ~

関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所 技術開発課 山中 勇樹

1. はじめに

港湾構造物の中には築造後相当の年数を経過しているものもあり、今後維持・更新の需要が増大する中、既存ストックを有効活用するため、効率的な点検手法の開発が求められている。特に、栈橋式係船岸(図-1)下側の点検は、狭隘な栈橋下に小型船舶で入り、目視調査をもとに老朽化に関する点検表や点検結果図を作成している。狭い栈橋下に入っ  
 ての作業(写真-1)は、波浪や航跡波により大きく小型船舶が動揺するなど危険な作業であり、現場での劣化部のスケッチや室内作業(スケッチの図面への転記、劣化部撮影写真の整理)の作業効率が悪い。

これらの問題に対し、栈橋下側撮影カメラを搭載した自航式ロボット(以下ROVという。)が安全な地上からの遠隔操作により栈橋下側を撮影し、撮影した動画を画像処理し静止画を作成し、これをもとに点検結果帳票をパソコンを使って作成する一連のシステムを開発し、点検の安全化・効率化を図った。

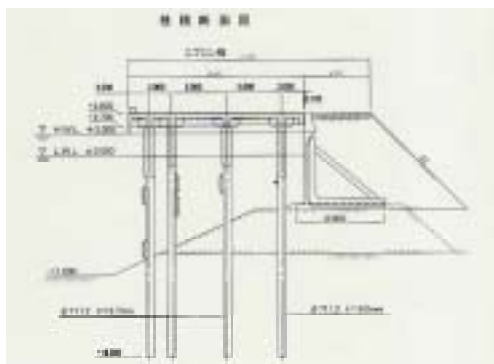


図-1 栈橋式係船岸の断面



写真-1 栈橋下劣化状況のスケッチ

2. システムの構成

本システムは、構造物の点検・調査のうち目視による調査を中心とした1次点検を対象としている。システムを開発するにあたり、はじめに点検作業工程の見直しを図った。

現場作業の安全と効率化を図るため、栈橋下へ人は入らずROVにより栈橋下全面を撮影することとした。

また、室内作業の効率化のため、現場で撮影した映像を基に点検結果帳票をパソコンを使って編集するようになった。

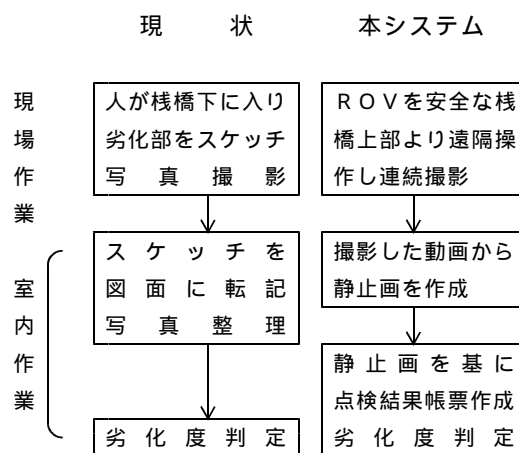


図-2 点検作業フロー

### 3. ROVによる栈橋下面の撮影

栈橋下面を撮影する手段としてROVを用いた。ROVは水中作業をするための構造となっているため、栈橋下面撮影に必要な以下の装置を製作・装備する改良を行った。

#### 3.1 栈橋下面撮影用に特化したカメラ

照明灯、ズーム機能、チルト機能を持つ栈橋下面撮影用に特化したカメラを搭載した。

また、コンクリートひび割れ等の劣化部の形状(長さ、面積)を計測する手段としてコリメートレーザを搭載した。コリメートレーザは、図-3に示すようにカメラと被写体の距離に関係なく、被写体表面に1辺10cmの正方形を映し出す。これにより撮影した映像において単位画素当たり長さを与えることができ、後述の点検結果帳票作成ソフトにより劣化部の形状計測を行うことができる。

#### 3.2 波の影響による動揺を低減するためのフレーム

ROVをそのまま用いると波浪や航跡波により動揺し、航行の直進性が阻害され、撮影した映像の揺れが大きくなり、室内作業工程における静止画作成に悪影響を与える。また、浮上操作を続けないと沈んでしまう。このため動揺を低減するためのフレームを装備するとともに浮力を確保するフロートにより浮上操作を不要とする工夫をした。

#### 3.3 遠隔操作を円滑にするための360°視認カメラ

360°視認カメラを取り付け、ROVの前進時は前方を後進時は後方をモニターに映し操作者はこれを見ながら操作することによりROV航行の直進性が向上するとともに障害物回避が容易となった。

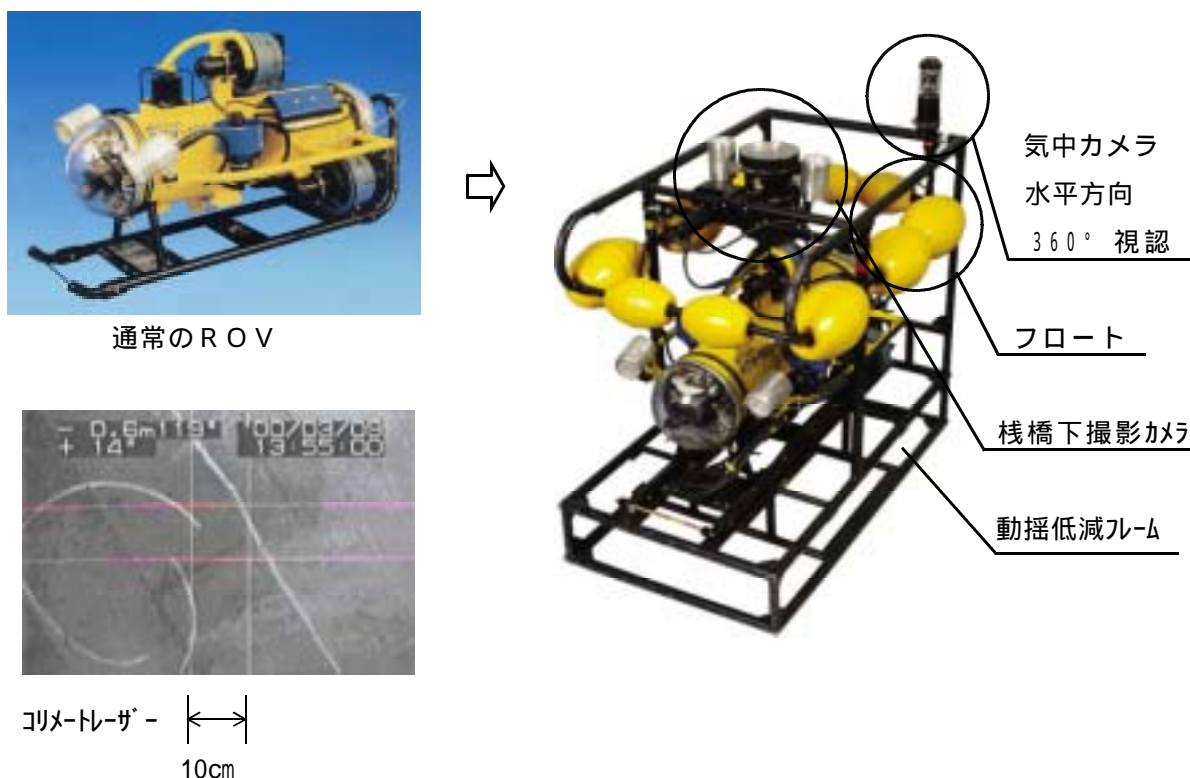


図-3 栈橋下面を撮影するためのROV改良

#### 4 . 画像処理

ROVにより撮影した栈橋下面の動画像から連続静止画を作成するソフトを開発した。動画像を静止画に分割し、連続する静止画に水平、垂直に回転を加えた合成処理を行い、1枚の静止画を作成する。これにより目印を持たず類似する情景が連続する栈橋下面の連続静止画作成が可能となった。(図 - 4、図 - 5)

画像結合イメージ

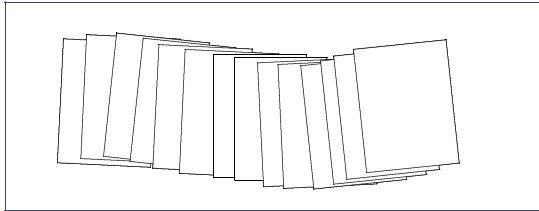


図 - 4 動画像からの静止画の作成

図 - 5 連続化処理を行った画像

従来の点検方法(人による直接目視点検)により作成された栈橋下面の劣化状況図と本システムにより作成した連続静止画の比較を行った。(図 - 6、7)紙面上では判別しにくい、スケッチを図化した従来の点検方法により劣化部とされた箇所が、パソコンのモニター上で確認できる。

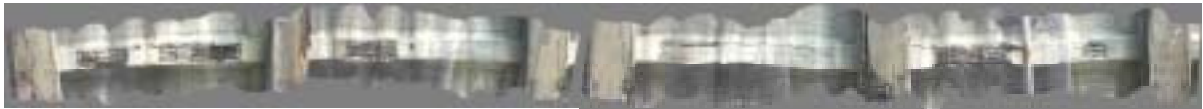


図 - 6 自動合成した連続静止画

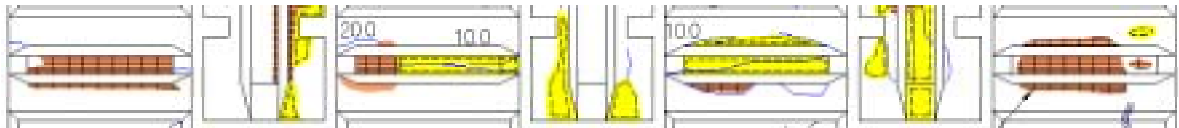


図 - 7 従来の点検方法による劣化状況図

#### 5 . 点検結果帳票の作成

作成した栈橋下面の静止画を基に点検結果を電子データとして記録するソフトを開発した。

このソフトは、栈橋下面の点検及びその結果を点検表形式に編集する作業を支援するツールである。

画像処理により作成した静止画を図 - 9 に示すメインフォームに取り込む。点検した施設名等の基本情報を入力するとともに劣化部についてはその画像を切り出し、劣化状況を入力する。また、必要に応じて劣化部の形状(ひび割れ長さ、劣化部の面積等)を画面上でマウス操作により計測することもできる。

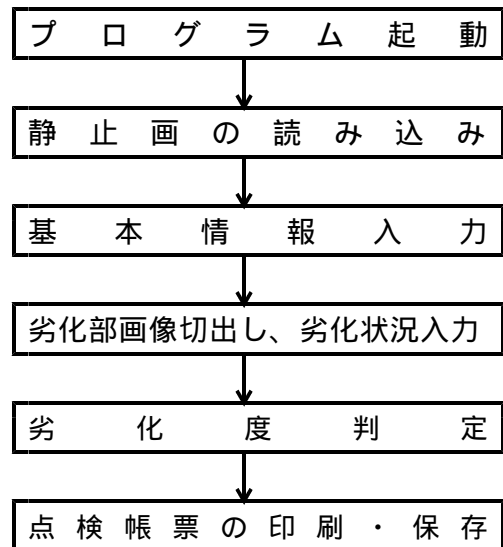


図 - 8 点検結果帳票作成フロー

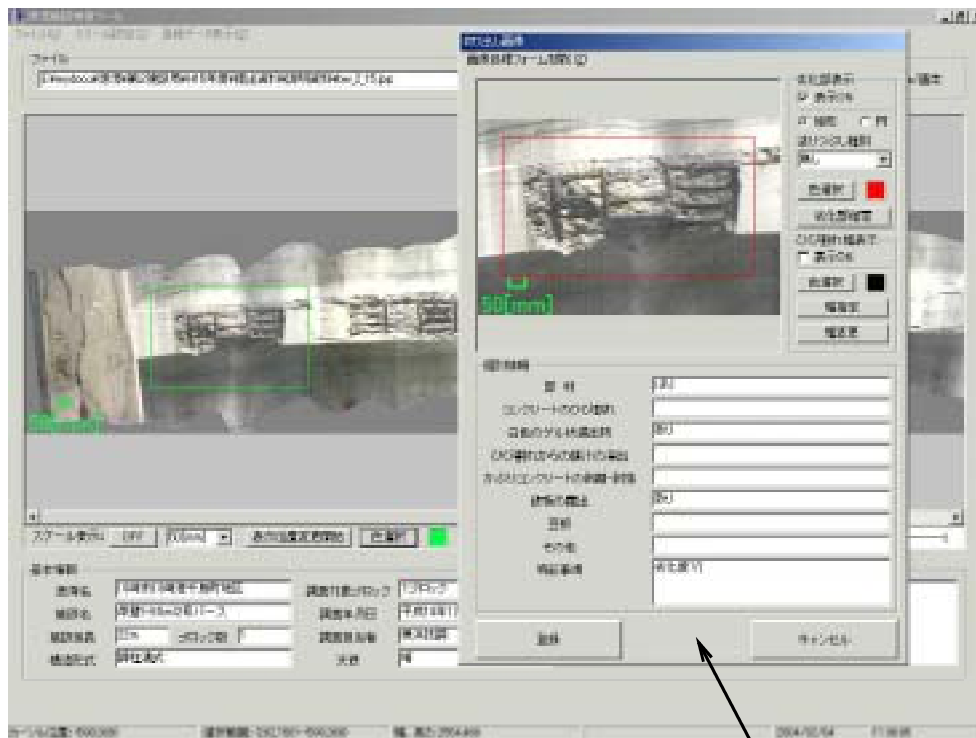


図 - 9 点検結果帳票

切り出し画像

## 6. 本システムの特徴

本システムは、各種技術の組合せにより現場作業の機械化、室内作業の効率化を図った。本システムの特徴は以下のとおりである。

栈橋下に人が入らないため危険な作業がなくなり安全性が向上する。地震等の災害発生時の調査にも有効である。

現場では、栈橋下面を連続的に撮影するだけであり、スケッチ等の手間のかかる作業がなく、作業効率が向上する。

栈橋下面全体が映像として記録できるため、経年劣化が把握しやすくなる。

作業効率の向上及び現場作業の少人数化により点検作業のコスト縮減が図れる。

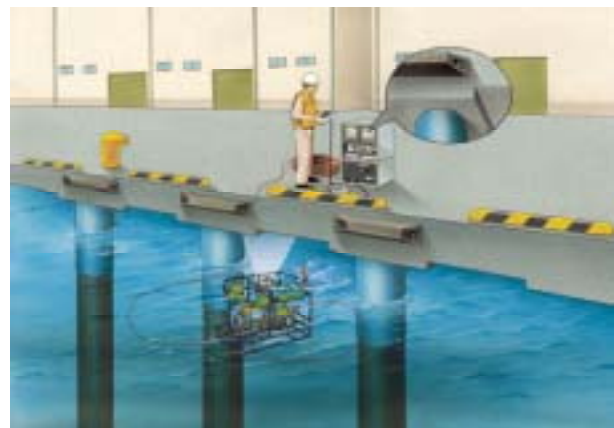


図 - 10 ROV遠隔操作による栈橋下撮影

## 7. おわりに

本システムの開発において、当初波浪や航跡波によるROVの動揺により栈橋下を撮影した映像の揺れが激しく、静止画作成に困難を来した。これに対してROV航行における動揺を少なくするというハード面と、低減された揺れの範囲内であれば、映像が揺れていても、画像の連続化を可能とするソフト面、両方の対応策の組合せにより解決することができた。本システムは、栈橋式係船岸の下面の1次点検を対象として開発した。今後は、実運用を重ねて、さらなる改良を加え、より使いやすいシステムとしていきたい。

# 干潟走行式底質浄化装置の開発

下関港湾空港技術調査事務所 環境課 環境技術係長 川野 泰広

## 1、はじめに

近年、有明海などに代表されるように閉鎖性海域においては、漁獲量の減少・魚種の変化・水質の悪化・浮泥の堆積などをはじめ、様々な環境問題が深刻化しており、総合的な海域環境の保全・再生が求められている。

こうしたなか、軟弱な泥質干潟など、既往の耕耘等では作業性が悪く、耕耘効果が期待できない海域においても、容易に走行可能かつ曝気機能により耕耘効果を高めることを目的とした干潟走行式底質浄化装置の開発について報告するものである。

## 2、干潟走行式底質浄化装置の製作及び基本デ - タ収集

平成14年度において、干潟走行式底質浄化装置を製作し、干潟上での走行機能や曝気機能のために試運転を行い、装置の基本デ - タの収集を行った。

本装置の主要目及び性能（実測値）は、表 - 1 のとおりである。



写真 - 1 干潟走行式底質浄化装置

《主要目》	《性能（実測値）》
寸 法：全長 3.1m 全幅 3.5m	単純走行時：最大 7 km/h
船 質：FRP製	曝気走行時：平均 3 km/h
主機関：空冷ディ - ゼル 10 P S	曝 気 量：毎分約 1,000 L
重 量：約 560 kg	1 平方メ - トルあたり約 20 L
曝 気：機械式過給器	改 良 深 さ：20 ~ 30 cm

表 - 1 本装置の主要項目及び性能

耕耘・曝気は、干潟走行式底質浄化装置の後方から、底泥中に曝気装置を挿入し、干潟上を平均時速 3 km / h で走行することにより実施した。

本装置の特長として、エンジンの駆動力により、機械式過給器を作動させ後部のスリット式散気管で底質を耕耘し、同時に大量の空気を送り込むことで、干潟生物の生息環境を大幅に改善し、干潟の浄化能力を高めることができる。スリット式散気管は、鋤の効果で下部にできる空間から底質中に毎分約 1,000 L の空気を送り込める。1 時間の耕耘面積が約 3,000 m<sup>2</sup> であることから換算すると、1 m<sup>2</sup> 当り約 20 L の曝気となる。曝気装置の挿入深度は、底生生物の多くが生息する表層（干潟面下 20 cm）とした。

## 3、干潟改善のための調査概要

### 3.1、耕耘区域及び調査地点

調査区域は、有明海湾奥部の泥質干潟が広く形成されている佐賀県白石町地先とした（図 - 1 参照）。有明海湾奥部は底質環境が悪く、劣化した干潟エリアが密集して

いる。また、当海域は攪乱も少なくシルト分が堆積しており、表層数センチ以下は黒色の嫌気層となっており、現地踏査時も底質から強烈な硫化水素臭が確認されている。

この調査区域内に、耕耘区域と対照区域（非耕耘区域）を設け、耕耘区域内に9点、対照区域に2点の観測点を設定した（図 - 2 参照）。



図 - 1 調査位置図

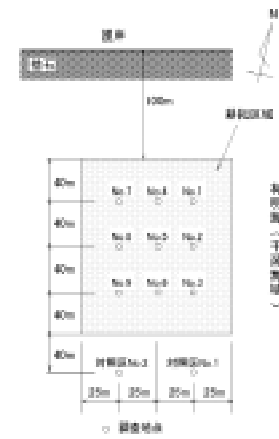


図 - 2 調査区域の概要

### 3.2、干潟耕耘

干潟耕耘は、干潟走行式底質浄化装置により、平成15年6月から8月にかけての大潮期（2週間毎）に計4回実施した。耕耘区域は100m x 160mの範囲とし、区域内を1m間隔で耕耘した（実質耕耘面積8,000㎡）。



写真 - 2 干潟の耕耘状況

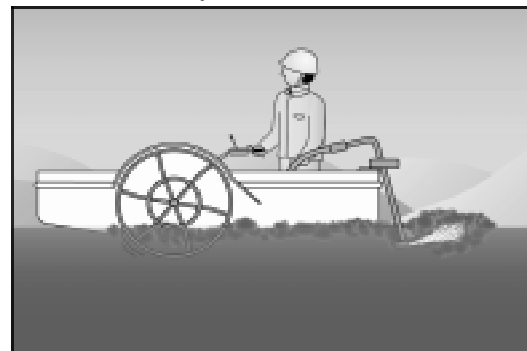


図 - 3 干潟耕耘のイメージ

### 3.3、底質・底生生物の採取

底質サンプルの採取は、干潟耕耘着手前1回と、耕耘してから2週間後の4回の計5回実施した。また、底生生物の採取は、このうちの1, 3, 5回目に実施した。調査工程を表 - 2 に示す。

月	6	7	7	7	7	8	8	8	
日	30	1	14	15	28	29	11	12	25
調査工程	(2週間) 耕耘		(2週間) 耕耘		耕耘	(2週間) 耕耘			
	底質サンプル採取・底生生物採集 底質サンプル採取								
調査項目	底質 : 含水比、粒度組成、強熱減量、硫化物、化学的酸素要求量、全窒素、全リン、クロロフィルa、酸化還元電位 底生生物: コドラート内(25cm x 25cm x 10cm)の底泥を3回採取し、1mm目のふるい上に残った生物を対象								

表 - 2 調査工程

### 3.4、調査期間中の気象状況

調査期間における日照時間は6月中旬から7月上旬にかけて少なく、7月中旬から8月下旬にかけて増加した。また、7月26日までは梅雨で、7月20、21日には200mmを超える集中豪雨が発生した。気象状況の変化を図-4に示す。

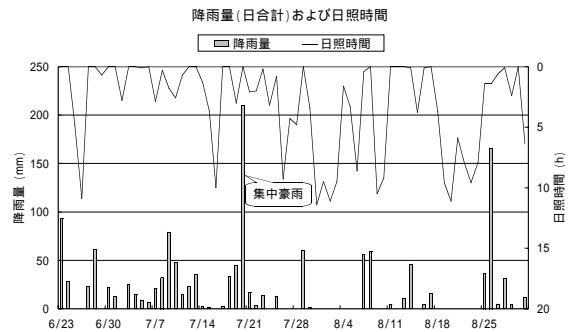


図 - 4 気象状況の変化

### 3.5、底生生物出現状況

底生生物量の変化について、平均個体数の変化状況を図-5に、種類数の変化状況を図-6に示す。

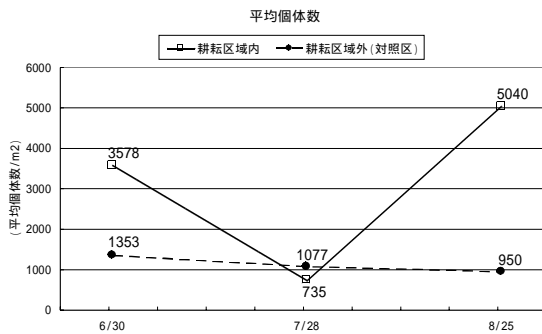


図 - 5 平均個体数の変化状況

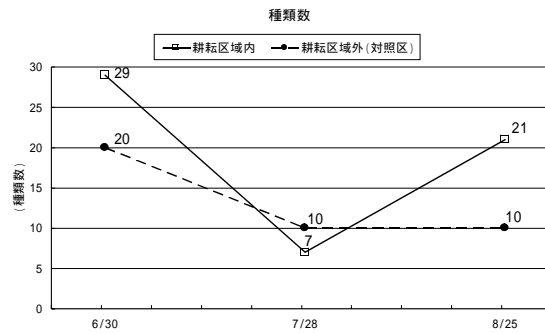


図 - 6 種類数の変化状況

耕耘前の平均個体数をみると、耕耘区で約3,500個体/m<sup>2</sup>、対照区ではその半分の約1,400個体/m<sup>2</sup>であった。これは非常に密集して生息する特徴をもつヒラタヌマコダキガイの分布の有無によるもので、この種を除くと両区域とも1,200個体/m<sup>2</sup>程度となり、大きな差は見られない。

7月28日の採取では、底生生物の極端な減少が確認され、平均個体数は耕耘区で735個体/m<sup>2</sup>（耕耘前の約20%）、対照区で1,077個体/m<sup>2</sup>（耕耘前の約80%）に減少し、岸寄りの耕耘区で減少率が大きかった。これは採取の約1週間前に記録された集中豪雨等の荒天による干潟の攪乱が原因と考えられる。

8月25日の採取では、耕耘区において個体数、種類数ともに増加し、約5,000個体/m<sup>2</sup>、21種類が確認されたが、対照区では大きな変化はみられず、約1,000個体/m<sup>2</sup>、10種類であり、底生生物量の増加は耕耘区においてのみ確認された。

耕耘区における底生生物量は、7月28日に激減したが、8月25日には耕耘前の約1.4倍に増加し、その6割を軟体動物門巻貝綱のワカウラツボ科が占めていた。

しかしながら、その底生生物量の増加が自然回復によるものか、耕耘・曝気の効果によるものかの判定までには至らなかった。

### 3.6、底質分析結果

底質分析の結果、クロロフィルaについて、対照区では調査期間中を通じて同様な値で推移したが、耕耘区において減少傾向を示した。それ以外の項目については、耕耘区と対照区で一定の変化傾向はみられなかった。

栄養塩量の豊富な干潟において、底生微細藻類の増殖に影響するのは光と温度である。クロロフィルaの変化を図-7に示す。

クロロフィルaは、耕耘区で対照区より高く、経時的にみて、対照区では大きな変化がみられず、耕耘区では耕耘前の約4 mg/kgから徐々に低下し、約2ヶ月後の8月末には約3 mg/kgとなっており、やや減少する傾向を示していた。クロロフィルaは光合成を行う珪藻類や植物プランクトンに含まれる色素であり、クロロフィルaの量の減少は、概ねその現存量の減少を示す。

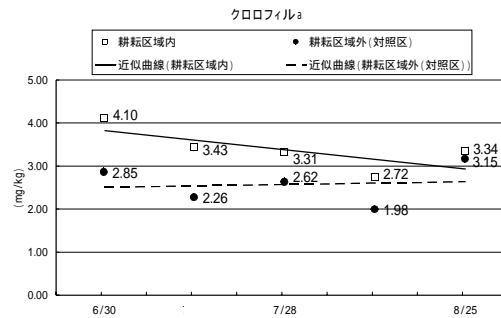


図-7 クロロフィルaの変化

珪藻類の捕食者である底生生物については、7月28日から8月25日にかけてその個体数が急激に増加しており、増加している種は、ワカウラツボ科やエドガワミスゴマツボなどの干潟表在性の小型巻貝であった。これら小型巻貝は、干潟表面で堆積物や珪藻類を補食しており、これらの個体数増加が、クロロフィルaを減少させた原因のひとつとして考えられる。



写真-3 採取された代表的な底生生物

### 4、おわりに

今回の底質調査結果では、明瞭な効果の確認はできなかったが、底生生物の回復が耕耘区で顕著であったことから、干潟改善効果は若干認められるものであった。ただし、調査全体を通して定量的な判定までは至らなかったため、今後も更に耕耘調査を行い、データを蓄積していくことで、効果検証に取り組む必要がある。

また、泥質干潟の改善・保全策の1つとして、直轄事務所における干潟耕耘調査、共同研究を進める大学等による調査研究への供用、NPOや地域住民等による干潟環境改善に向けたボランティア活動への貸出し、干潟フェスタ時における体験乗船による啓発活動などに干潟走行式底質浄化装置を活用していきたい。