

特別セッション「海上埋立」のまとめ —海上埋立に必要な技術とその方向性—

A SUMMARY OF THE SPECIAL SESSION "LAND RECLAMATION AT SEAS"

小島治幸¹・伊藤一教²・木村克俊³
Haruyuki KOJIMA, Kazunori ITOH and Katsutoshi KIMURA

¹正会員 工博 九州共立大学 (〒807-8585 北九州市八幡西区自由が丘1-8)

²正会員 工修 大成建設(株) (〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1)

³正会員 工博 室蘭工業大学 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)

This paper presents a summary of the special session "Land Reclamation at Seas." The aim of the session lies on identification of technologies which allow us to construct man-made land environmental-friendly and economically. The session consists of two parts: one part is presentation of the papers regarding with land reclamation and the other part is a panel discussion among panelists presenting the papers. Presented are four regular papers concerning several essential reclamation technologies and five invited papers concerning large land-reclaimed projects taken place at various parts of Japan. Among various topics discussed, a shielding structure for disposal grounds is most discussed.

Key Words : reclamation works, man-made island, reclaimed disposal ground, shielding structure, consensus building, environmental preservation

1. はじめに

国土が狭隘なわが国においては、これまで海上埋立によって、港湾、空港、発電所などの建設用地が確保されてきた。また廃棄物や浚渫土砂の受け入れを目的とした海上埋立も少なくない。しかしながら、近年は沿岸域には埋立の適地は少なく、条件の厳しい沖合での事業展開が求められている。また環境意識の高まりを受けて、海域環境を可能な限り保全することがますます重要となっている。さらに厳しい財政事情のなかで、こうした事業に対するいっそうの効率化が求められている。このような要請に応えるため、必要な技術開発の方向性を明らかにすることが本セッションの中心テーマである。

本セッションでは、まず個々の技術と現在行われている代表的なプロジェクトに関する発表があった。個々の技術に関しては、遮水護岸や浚渫土砂の有効利用、事業の合意形成などに関する発表があり、代表的なプロジェクトに関しては、「海上空港」や「廃棄物埋立」、「沖合人工島」など多様な海上埋立事業の代表的なビッグプロジェクトを担当している技術者から、

我々の知り得ない「プロジェクトの困難さ」を克服された知見が報告された。つぎに、発表者をパネラーに迎えて「海上埋立に必要な技術とその方向性」について議論をし、技術的および制度的な課題や問題点等を浮き彫りにすることを目指した。

海上埋立の技術に関して、図-1に示すよう

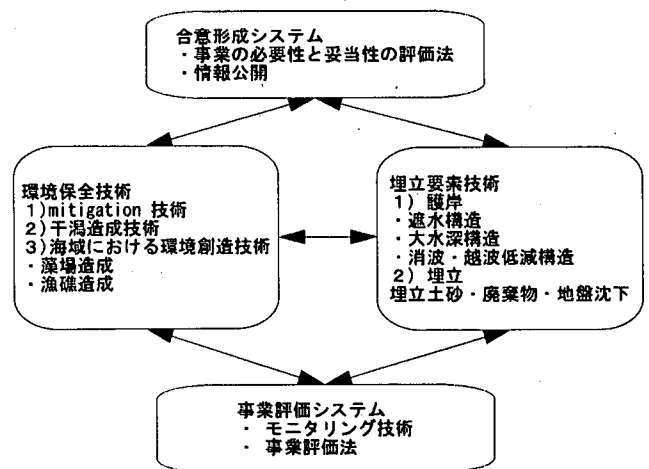


図-1 海上埋立に関する技術とシステム
に、4つの側面が考えられるであろう。一つは、

埋立事業を実施する上で必要となる合意形成に関して事業の必要性や妥当性を客観的に評価する手法とそれらを多様な関係者に周知するシステムである。2つ目は、埋立を行う上での個々の要素技術である。これには、埋立地造成と護岸建設に関するものに大別される。3つ目は、埋立により失う自然環境を補償したり、創造したりする環境保全技術である。これには、狭い意味でのミティゲーション技術や干潟造成、藻場造成の技術が含まれる。最後は、モニタリング技術や事業の評価手法に関する事業評価システムである。

本文は、上の4つの側面のうち、埋立の要素技術である遮水構造と埋立土砂に関する課題および合意形成に関する課題を取り上げ、発表論文の内容をまとめるとともに、討論会で出された意見等を報告するものである。

2. 発表論文

このセッションで発表された論文のタイトルと発表者を以下に示す。

- ・海上埋立におけるセメント混合浚渫土の有効利用事例（関門港湾建設（株）湯 怡新氏）
- ・変形追随性遮水材料を用いた管理型海面廃棄物-最終処分場の新しい遮水護岸構造の提案 -（五洋建設（株）山田耕一氏）
- ・混成堤式管理型護岸の遮水シート作用波圧特性に関する研究（国土交通省 宇野健司氏）
- ・市民から見た地域の護岸工事の周知と同意形成の状況-大分県杵築市守江湾を事例として -（であいねっとわーく ともだち 綿末しのぶ氏）
- ・中部国際空港セントレアの建設工事（中部国際空港（株） 上用敏弘氏）
- ・大阪湾フェニックス事業の廃棄物埋立について（大阪湾広域臨海環境整備センター 安間清氏）
- ・新北九州空港整備事業について（九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所 山縣延文氏）
- ・下関沖合人工島の建設（九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所 諫山貞雄氏）
- ・日本の海上埋立の変遷（国土交通省 藪中克一氏）

3. 日本における海上埋立の変遷

わが国の海上埋立の変遷は、「日本における海上埋立の変遷」によると次のようにまとめられる。記録に残る大規模な埋立は、12世紀平安時代末期から築港工事として進められ、中世で

は農地用土地の拡大を目的として江戸や大阪などでの埋立がなされてきた。明治や大正期では、港湾建設や運河掘削とともにその浚渫土を埋立に活用した臨海型の工業地帯造成が行われはじめた。しかし、大規模な浚渫、埋立工事が行われるようになったのは戦後からである。わが国で行われた総埋立て面積は190,500haと見積もられ、そのうちの78%にあたる148,300haが戦後に埋め立てられた。このように急速に進展した戦後の埋立地の用途は、農用地、工業用地、住宅地その他がそれぞれ約1/3の割合となっている。現在造成中のものでは、東京湾では「工業用地」がないのに対して、伊勢湾と瀬戸内海は20%強の比率である。「公園緑地」の比率では、東京湾、伊勢湾が30%弱に対して、瀬戸内海ではその1/2程度となっている。空港などの人流・物流用地や下水処理などの都市機能用地などが含まれる「その他」の比率が高いことが、近年の埋立の特徴であると言える。

埋立地の形状も、沖合方向に陸地から連続して拡張する形から、大規模な埋立地にあっては、環境面を配慮した人工島タイプとする例が多くなっている。埋立による海洋空間利用のパターンを分類すると次のようになる。

- ① 臨海埋立地：内湾および内海を中心とした陸続きの埋立。
- ② 沿岸人工島：既存の都市および工業地帯と土地利用上、密接な関係を持つ人工島。
- ③ 沖合人工島：陸域から離れた沖合海域で新しい土地利用を行う人工島。周辺の海域利用と一体として計画されることが多い。

4. 遮水技術の現状と課題

廃棄物処分場は、「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令（総理府・厚生省共同命令 平成10年6月）」により、構造上の規定がなされている。この命令では、最終処分場の生命線とも言うべき遮水構造に関する基準が示され、基礎地盤の厚さと透水係数の関係、遮水シートの使用などが示されている。処分場建設におけるポイントは、「基準を満足するべく遮水構造を、いかに確実に安全で経済的に実現するか」といえる。

陸上の処分場と海面処分場の相違点は、施工性にあることは異論がないところであろう。陸上処分場の場合には、遮水構造の品質・性能を確認しやすいのに対し、海面処分場の場合、陸上と同じグレードで品質・性能を確認することは難しいと考えられる。これは、海面処分場が水面下の構造物を含むだけでなく、常に潮汐や

波浪といった外力にさらされることにも依存している。

また、海面処分場と陸上処分場の相違点として規模をあげることができる。一般的に海面処分場はその規模が大きいので、建設材料を大量に必要とする。それゆえ、循環型社会や環境保全の観点からリサイクルを考慮した建設材料の調達には社会的な要求と考えられる。

本セッションにおいて発表された「海上埋立におけるセメント混合浚渫土の有効利用事例」は循環型材料の典型であり、廃棄物護岸に限らず海上埋立を実施するに当たって、貴重なリサイクル材になるものと考えられる。一般に浚渫土のような材料は、その性質が不明確であり、浚渫地点ごとに含水比等が大きく異なること推測される。実際の施工において、母材のばらつきは品質に直結するため、各港の材料について定量的にセメント混合浚渫土の特性を議論した点は工学的に意義があったと思われる。実施工を想定する場合、セメント混合浚渫土は潮流や波浪による流れの作用下で固化する場合があると思われる。そのような状態にあっては、セメントの溶出が発生し強度低下が発生する可能性もある。つまり、実際に打設されたセメント混合浚渫土の発現強度については、室内実験での結果を下回る可能性がある。

また、セメント混合浚渫土を護岸腹付け工として利用した事例が示されたが、腹付け工のような場合、品質のばらつきは構造的に重要な要因となる可能性がある。腹付け工として設計強度を満足するセメント混合浚渫土を施工する場合でも、セメント混合浚渫土の発現強度は高いレベルでばらつきを示すであろう。この場合、地震作用時においては、強度の不連続部などが発生し構造的弱点となる可能性がある。さらに、セメント含有量が多い高強度セメント混合浚渫土の場合には、土質材料的な物性とコンクリートの物性を併せ持つ複雑な材料になる可能性があり、設計時の取り扱いも難しいものとなる。したがって、セメント混合浚渫土の場合、ばらつきを低減する施工方法、セメント含有量に応じてどのような物性を示すかを圧縮強度特性だけでなく、他の視点からも検討することが課題になると考えられる。

海面処分場の場合、東京湾、大阪湾といった海域で大規模な建設が行われてきた歴史がある。これらの海域は、大規模な沖積粘性土層が存在し透水性の低い海底地盤を確保できるため、海面処分場建設に適している。一方、海面処分場の護岸は全くの人工構造物になるため、遮水技術として難しい構造物となる。従来の遮水工は、鋼(管)矢板、遮水シート、アスファルトある

いは固化処理土等の組み合わせで実施されているが、遮水工の基準を満足し、安全かつ経済的な技術開発は重要な課題である。

特別セッションにおいて発表された「変形追随性遮水材料を用いた管理型海面廃棄物処分場の新しい遮水護岸構造の提案」は、新しい遮水材料、遮水構造として期待できる。論文中に述べられている「変形追随性」は、護岸の沈下や地震等に伴う変形に対し、止水性能を維持する重要な特徴と考えられる。海面処分場には、遮水機能を満足しなければならない期間、いわゆる廃棄物処分場が一般埋立地として扱えるようになるまでの期間がある。その期間中において遮水機能が満足できるかどうかの長期安定性などの検討が必要であろう。

海面処分場の護岸において、その遮水機能を確保するため、遮水シートを用いる場合が多く、基準においても遮水シートの使用を明示している。常に波浪の作用下にある護岸の場合、遮水シートに作用する外力を評価することは、護岸遮水機能の長期確保および適正断面の設計の観点から重要である。

本セッションにおいて発表された「混成堤式管理型護岸の遮水シート作用波圧特性に関する研究」では、遮水シートに作用する波圧の低減策として裏込部の圧抜口が示され、現実的な方法として期待できる。一般的には、裏込石の不陸や突起などによる損傷から遮水シートを守る目的で、裏込め石と遮水シートの間に土砂や固化処理土などが用いられていることが多い。マウンドや裏込石を伝播した波圧により、土砂や固化処理土がどのような挙動を示すかも遮水シートの安定性の観点から重要であると考えられる。

「大阪湾フェニックス事業の廃棄物埋立について」では、止水矢板を用いた遮水構造とその設計がフェイルセーフの思想に基づくことが示された。具体的には、止水矢板に及ぼす沈下および水平変位をFEM解析し、より安全な構造が設計にもりこまれた。また、廃棄物処理完了後の管理型処分場の早期安定化に向けた取り組みが示された。

海面処分場の遮水護岸を対象とした技術課題として、「管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル」¹⁾には以下の13項目が記述されている。

- ① 海面処分場内外の水位差、波浪による圧力が遮水シート等に及ぼす力の算定方法およびそれらへの対策工の開発(重力式護岸、捨石式護岸の形式別の算定法)
- ② 遮水性、変形追随性、せん断強度をもった遮水材料、中詰材の開発

- ③ 遮水工が地震の際にも機能を発揮できるための方策
- ④ 不透水性に改良された基礎地盤に遮水矢板を打設し、連続した遮水工を形成する工法の開発
- ⑤ 膨潤性遮水材およびモルタル以外の遮水矢板の継ぎ手に用いる材料の開発。また、その材料が施工可能となる継ぎ手形状の開発
- ⑥ 遮水矢板の不透水性地層への必要値入長の設定方法
- ⑦ 遮水シートの中での接合方法
- ⑧ 遮水シートの施工方法
- ⑨ 遮水シートと不透水性地層が接する部分を密着させる方法
- ⑩ 廃棄物と接触する遮水シートおよび鋼（管）矢板の腐食、劣化対策
- ⑪ 隅角部等の特殊部分における遮水工の施工方法
- ⑫ 遮水シートの破損の検知システム
- ⑬ 遮水工の補修工法

これらは重要点を網羅しており、今後の開発課題が大半である。現在においても、海面処分場の建設は実施され、それらは基準を満足する設計がなされているであろう。また①、⑩、⑫、⑬に示された課題は、現在運用されている海面処分場に関係するものであり、特に、遮水護岸の技術的課題は急務の問題と言える。

5. 埋立土砂の確保、搬送・搬入について

海上埋立の用地造成に関して土砂の確保や搬送・搬入方法、沈下予測、地盤改良などは、工費に直接反映するために最重要課題の一つである。今回、発表された海上埋立の事業においても、いくつかの技術的な工夫がなされている。例えば「中部国際空港 セントレアの建設工事」では、約5,500m³の埋立土砂を想定しているが、そのうちの一部として名古屋港の浚渫土砂を用いるとき、「管中混合固化処理工法」により土砂を投入している。これは、空気圧送船から圧送管を通し浚渫土砂を送り出し、固化剤添加の作業船を経由し、埋立地に空気圧で混ぜ合わせながら送る工法で、急速かつ大量に所定の地盤造成を可能とする特徴を持っている。また「新北九州空港整備事業について」では、埋立地表層が含水比200～300%の超軟弱地盤であるため、覆土载荷に伴う沈下と併せて自重圧密を考慮した沈下予測が必要であり、CONAN解析法による予測が行われ、沈下モニタリングの結果との比較から予測値が妥当であると報告されている。

埋立土砂の確保に関しては、討論会で次のような意見が出た。

- ・ 中部国際空港においては、名古屋港の浚渫土砂や河川改修や掘削による土砂、建設残土などが埋立土砂として利用可能であるが、時期的なずれや運搬が遠い、輸送問題などの理由により名古屋港の浚渫土砂以外は利用されなかった。
- ・ 一方で浚渫土砂や河川改修の掘削土砂、建設残土などの捨場に困っている事業があり、他方で埋立土砂の確保に困っている事業がある。これら双方の情報を一元的に管理するセンター的な組織が必要だ。

6. 海岸・海洋事業の合意形成について

合意形成に関しては、「市民からみた地域の護岸工事の周知と合意形成の状況」において海岸保全事業における護岸工事に関する意思決定の状況の報告と改善の提言がされた。埋立事業に関する発表では、各埋立事業を実施する際の合意形成のプロセスが報告されている。討論会では主に次のような意見が出た。

- ・ 海岸護岸などの海岸保全事業に関しては、海岸法の改正により住民の参加を促しているもので、合意形成などについて何か変化があるのではないか。
- ・ 事業主体である地方自治体の力量ややる気によって左右されてしまう。
- ・ 構想の段階から市民に説明をすることが重要だ。このとき、計画がしっかりと固まっていない段階でいろいろな説明をせざるを得ない状況で、市民の不安や質問にどのように答えるかが非常に難しい。
- ・ 海岸・海洋事業に関して、その事業を行うことによる「良いこと」ばかりでなく「悪いこと」も含めて情報を公開してもらいたい。

7. まとめ

今回の特別セッション「海上埋立」では、一般公募による発表が前半の4件、埋立事業に関する依頼発表が5件あり、個々の技術的な研究成果と事業を行うにあたっての新技术や環境保全への配慮、合意形成などの紹介があった。これらの話題提供を踏まえて討論を行ったが、管理型護岸に関する技術的な討論では、今後の技術的な課題を抽出するところまでいかなかった。合意形成に関しては、市民や行政担当者などから質問や意見が活発に出され、今後の合意形成に当たり参考になるものと思われる。討論

会でも指摘されたように、今回議論できなかった技術として以下のものが上げられる。

- ・環境保全技術，例えば，外海に面した藻場造成技術
- ・埋立地の延命化をはかるための新しい技術やシステムの開発
- ・外海に面した人工島における吸出し防止や越波防止の技術
- ・埋立土砂による地盤の沈下特性を予測する技術
- ・モニタリング技術や事業の評価手法に関する事業評価システム

この中でも、環境保全技術に関しては、セッションで紹介された中部国際空港、大阪湾フェニックス、下関沖合人工島における藻場の造成を考慮した環境共生型護岸が取り上げられている。これら護岸の断面に共通することは、石積堤や大きく張り出した捨石マウンドの存在である。これらの捨石構造物は、礫間接触浄化機能による水質浄化効果や、浅場の創造に伴う藻場の育成など環境に対する配慮の現れではないかと考えられる。今回、この点に関して十分に議論されなかったが、石材を積極的に用いることは近年の海上埋立における環境配慮への積極的な姿勢を示していると言える。

その一方で、石材の使用はその調達を考えると、仕様を満足する石材を提供するために、産地では地山の掘削が行われ、環境へのインパ

クトが少なくないことは容易に想像できる。この矛盾を解決することは非常に難しく、ミティゲーションの実施が不可欠ではないだろうか。また、石材の代替材料としてコンクリートガラの利用なども考えられる。近い将来、様々な建築構造物や土木構造物がリニューアルの局面をむかえ、コンクリートガラの発生は増加すると予測できる。つまり、コンクリートガラの利用は一例であり、リサイクル材の有効活用は非常に重要になるであろう。リサイクル材の有効活用は制度的な対応が必要であるとともに、リサイクル材に対応した要素技術も必要になるであろう。したがって、海上埋立に関わる環境保全技術は、広範囲かつ多様な技術開発が求められ、今後の技術の方向性の一つと考えるべきであろう。

このように、環境共生型護岸一つ取り上げても様々な技術的課題が挙げられる。さらに、上述した他の技術に関しても、海上埋立を効率的かつ経済的に実施するために早急に検討すべき重要な課題である。このため来年度も「海上埋立」のセッションを継続する予定である。

参考文献

- 1) (財) 港湾空間高度化センター：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル， p. 82, 2000.