

人工湧昇流マウンド造成のための ブロック投入管理

MANAGEMENT ON CONSTRUCTING ARTIFICIAL MOUND FOR UPWELLING GENERATION WITH CUBIC BLOCKS

大野嘉典¹・五明美智男²・浅沼丈夫³・川口毅⁴・平田賢治⁵

Yoshinori OONO, Michio GOMYO, Takeo ASANUMA,
Takeshi KAWAGUCHI and Kenji HIRATA

¹東亜建設工業株式会社 技術研究所 (〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1丁目3)

²正会員 博(工) 東亜建設工業株式会社 技術研究所 (同上)

³正会員 東亜建設工業株式会社 設計部 (〒102-8451 東京都千代田区四番町5)

⁴(社)水産土木建設技術センター 理事長 (〒104-0045 東京都中央区築地2-14-5)

⁵長崎県水産部漁港漁場整備課 課長補佐 (〒850-8570 長崎県長崎市江戸町2-13)

This paper is intended as an investigation on management system for constructing artificial mound with lots of blocks in a deepwater area. A system is developed by integrating some technologies noticing on measurement of position and vertical current profile, prediction of blocks dispersion, decision of dumping point, method of dumping blocks from the barge, monitoring settling blocks and measurement of created mound figuration. It was applied to the works executed at the depth of 85m off the Uku Island where complicated flow due to Tsushima Current is observed from the surface to the sea bottom.

It is found that the distance between median point of accumulated mound and objective point was a few meters and acceptable conical mound was created successfully.

Key Words: Management System, Artificial Mound, Blocks, Upwelling Generation

1. はじめに

大陸に隣接しつつ四方を海に囲まれた我が国周辺には、今後の開発が期待される海洋資源が少ない。例えば、自然の湧昇流漁場形成の源となる深層水については、高知県、富山県、伊豆大島など既に事業化した取水利用などとともに、栄養源の豊富な深層水を人工的に湧昇させる試みがなされている。

本研究は、大水深域にマウンドを設置し湧昇流を人工的に発生させる広域漁場の整備事業のうち、主要施設となるマウンドの築造工事に関するものである。ここでは、図-1に示した長崎県宇久島沖での実施工にあたり、様々な要素技術を統合して構築したブロック投入管理システムの内容とその適用結果について報告する。



図-1 投入位置図

2. 施工内容および施工管理の考え方

(1) 施工概要

施工場所は、長崎県宇久島沖合10kmの水深85mの海底で、平均流速1~2ノットの対馬海流の影響を受ける海域である。ここに底面半径約31.6m、高さ約15mの2基の円錐マウンドとそれを結ぶ三角形断面マウンドを造成するために(図-2)、フライアッシュコンクリートを材料にした1辺1.6m、比重1.8、重量約6tのほぼ方形のブロックを投入する(図-3)。

本報告で対象とした工事は、上述の全体形状のうち、1755個のブロックを全開式土運船により運搬、投入し、片側の円錐マウンドの高さ約11.2mまでを造成しようとするものである。

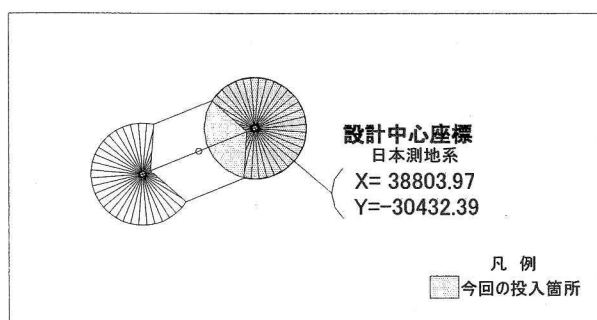


図-2 計画堆積形状平面図

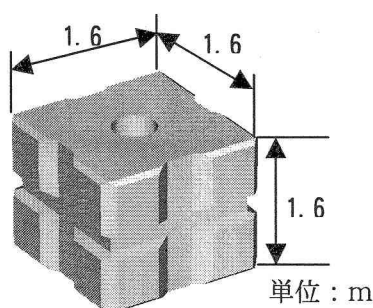


図-3 投入ブロック形状

(2) 施工管理の考え方

ブロックの投入管理の検討にあたり、以下に示す4つの課題が想定された。すなわち、海底の所定位置を中心(以下、設計中心とする)にブロックを堆積させるために、①対馬海流および潮流の影響を受けて生じる複雑な流れによるブロックの水平移動を考慮したブロック拡がりの予測と投入位置の決定、②海面上のブロック投入位置への船舶の誘導とブロックの投入方法および制御、③ブロックの海中での落下挙動、海底での堆積・散乱の正確な把握と次回投入へのフィードバック、④異なる形状(円錐形および三角形)断面造成のための投入方法、である。

(3) 施工管理システムの構成

こうした課題を解決するために、流況計測、投入位置の決定、投入位置までの土運船の誘導および位置制御、マウンド構築のための最適投入方法、実際の投入装置とその制御、落下状況および出来形の計測、施工済みの堆積形状を考慮した投入管理のための堆積形状予測など、多くの要素技術を組み合わせた施工管理システムを構築し、実工事に適用した。

図-4は、本施工管理システムの要素技術とそのフローを示したものである。

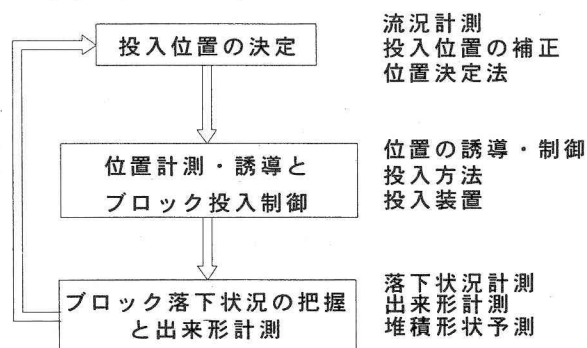


図-4 施工管理システムのフロー

3. 施工管理システムの要素技術

3. 1 投入位置の決定

(1) 3次元流況計測

施工に先立ち、2003年10月に現場の流況確認のためにADCP(1200KHz, RD Instrument社製)を用いた流況計測を実施した。その一例として、10月27日の観測結果を図-5に示す。平均流速約50cm/secの流れが反転する現象および水深増加にともなう流れの変化が生じており、施工時の連続モニタリングの必要性が示唆された。

そこで、流速の鉛直分布は、後述する堆積形状予測モデルを用いた投入位置決定のための重要な入力データとなることから、以下の様な流況計測の基準を設定した。

- ① 海象条件が良い場合には、ADCPを650PSの鋼製測量船に艀装し、鉛直方向4m毎の各層で流速を測定する。測量船の航行が困難となる冬季には、土運船への艀装も考慮する。
- ② 安定した流速が得られる深度6m~72mのデータを利用し、深度74mから海底までは均一と仮定する。
- ③ ブロック投入中の急激な流況変化に対応するために原則30分間隔で計測を実施する。今回の投入においては、事前に設定した流れに対し、変化量が20cm/secを超えた場合(20秒の沈降時間で4mの移動に相当)、投入位置を再度設定し直すこととする。

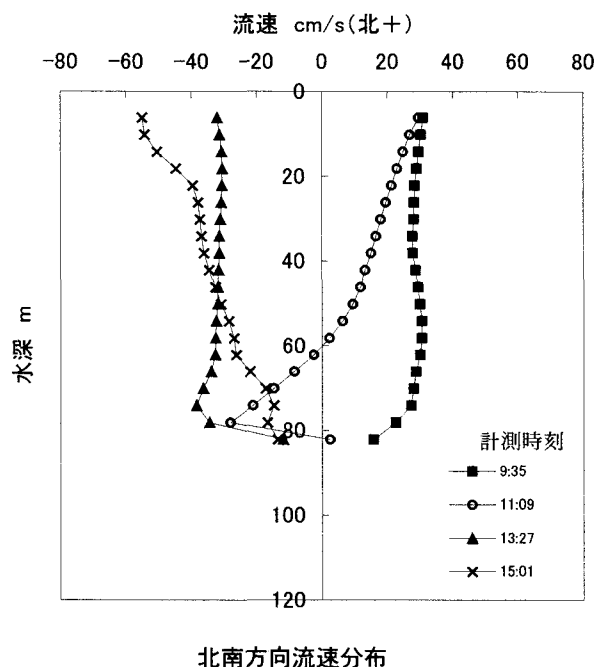
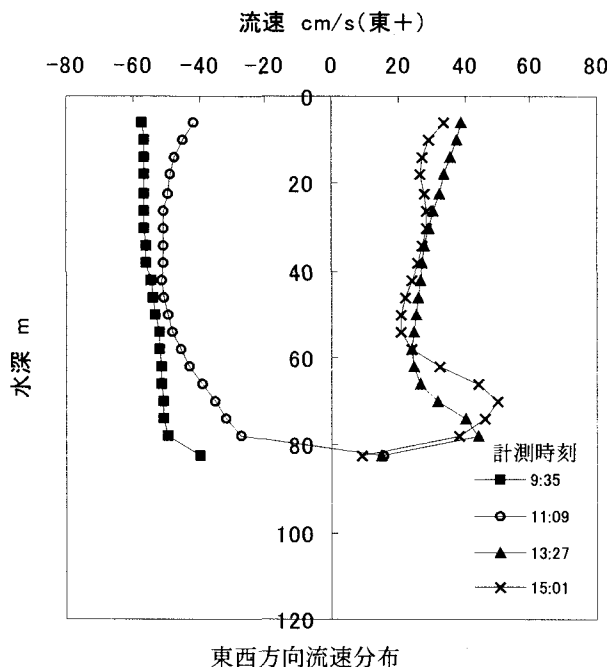


図-5 宇久沖合10kmの流況測定の一例

(2) 投入位置の決定

現場におけるリアルタイムでの投入位置の補正に際しては、測定した流況から即時に決定する必要がある。ここでは、(1)式に示す様に、得られた流速断面分布から水深を等分割した各層の平均流を算出し、ブロック沈降時間との積により各層における平均水平移動量を求め、鉛直方向の総和を取ることで投入位置の修正量とした(図-6)。

$$S_0 = \sum_{i=1}^n v_i \Delta t_i \quad (1)$$

ここに、 S_0 :水面での投入位置修正量、 n :水深分割数($n=10$)、 v_i 、 Δt_i :それぞれ i 層の流速、層内の沈降時間である。

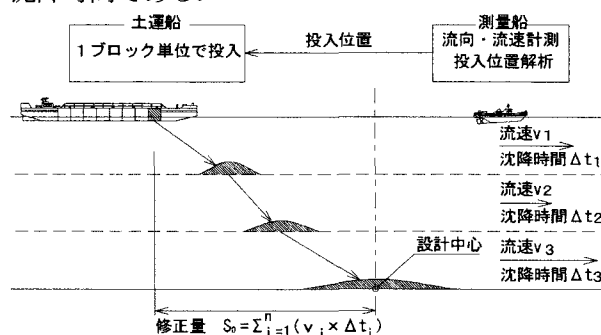


図-6 投入位置補正

3. 2 位置計測・誘導とブロック投入・制御

今回採用する土運船方式によって、円錐の頂部を立ち上げていくためには、土砂堆積形状に関する既往の知見からも推測される様に¹⁾、堆積形状の重心位置により定義される堆積中心を設計中心上に繰り返し重ねていかなければならない。そのためには、正確な位置の計測とともに同一地点上にブロックが集中して堆積し、かつブロックの拡がり小さくなる様な投入方式を採用する必要がある。以上の要請から、ここでは以下の様なシステムを構築した。

(1) 位置計測

投入位置の計測に関しては、陸上基地の利用が難しいことと高精度の計測が必要とされることから、人工衛星を利用することで陸上基地局に制約されずに測定可能な広域DPGSを適用した。このシステムの採用により、位置の計測精度は0.15m程度となる。

(2) 投入船団構成

上記の方針にもとづき、土運船の航行速度を極力落としながら所定位置への微調整誘導が可能で、しかも投入時にはほぼ停船状態でピンポイントでの投入ができる船団を検討した。その結果、安定性および操作性に優れたピンジョイント方式の4000m³土運船を採用した。この船団構成により、投入予定ブロックの中心を海面上投入予定地点の半径2m以内に誘導して投入することが可能となっている。

(3) ブロック投入単位

円形の堆積形状を確保するために、投入開口部も等方的な形状とする必要がある。そこで、土運船底部を全開したときの船幅方向の開口部長が約5.1mとなることから、1回あたりの投入ブロックの船首尾方向設置長もこれと同程度とすることが望ましい。そこで、図-7に示す様に2倉ある船倉のそれぞれにおいて、片側4個並び2列を投入単位とし、合計15列で1倉あたり120個、全体で240個のブロックを積込み投入することとした。

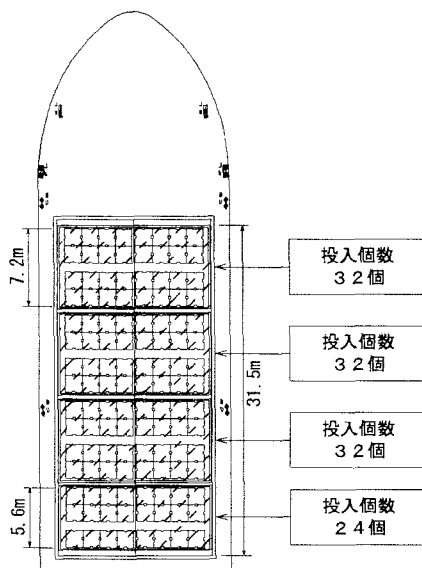


図-7 第1倉ブロック積み込み平面図

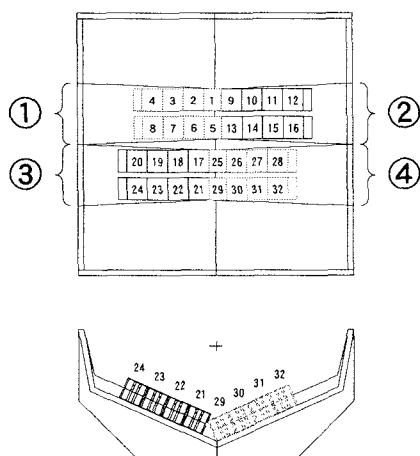


図-8 1回投入あたりのブロック配置図

(4) 投入方法

次に問題になるのは、図-8に示す様な1回あたり8個単位合計32個のブロックをどの様に投入するかである。そこで、投入方法を検討するために、現地縮尺1/20（水深80mを想定）での水理実験を実施した。投入方法として順次投入方式（図-8の①→②→③→④）、対角投入方式（図-8の①+④→②+③）の2つの比較検討を行うために、計8回合計256個のブロックを投入した際の堆積状況を比較した。

図-9は、堆積したブロック中心の座標を計測し、中心からの距離 L と次式に示すブロックの堆積ポテンシャルとの関係を示したものである。

$$P_L = \frac{N_L A}{S_L} \quad (2)$$

ここに、 P_L ：中心から $L \pm D/2$ （ D ：ブロック長）の範囲に堆積するポテンシャル、 N_L ：中心から $L \pm D/2$ （ D ：ブロック長）の範囲に堆積したブロックの個

数、 A ：ブロック底面積、 S_L ：中心から $L \pm D/2$ （ D ：ブロック長）範囲の面積である。図から明らかな様に、中心付近での堆積ポテンシャルは、対角投入方式のほうが高くなっている。さらに、実工事における土運船の定点保持時間および1隻あたりの全投入時間を短くできる利点を考慮し、実際の施工においては対角投入方式を採用した。

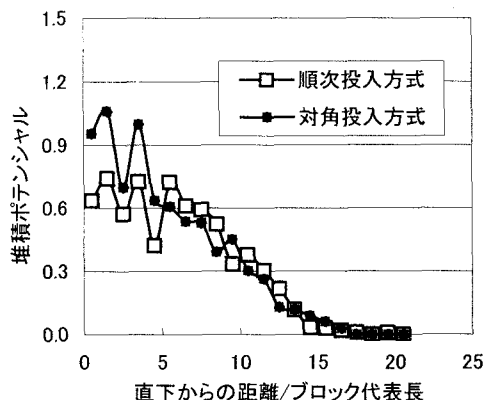


図-9 水理実験による投入方法比較

(5) 投入制御

全開式の土運船においては、倉内のブロックはバージ開閉時に一度に落下するため、一点投入が確保できないばかりか開口部での閉塞現象を生じることが懸念される。そのため、上述の投入単位と投入方式を実現するために、投入単位であるブロック8個を1本のワイヤーで固縛し、所定位置に誘導した後に該当する区間の固縛ワイヤーを外して投入する方式を採用した。

3. 3 ブロック落下状況把握と出来形計測

(1) ブロック落下状況計測

ブロックの落下挙動については、図-10に示す様に、フォーキャストマルチビーム前方監視ソナーをバージ船の側方の測量船に配置した上で、上下120度、左右17度の探知範囲内での監視し、投入位置補正の際に用いた沈降時間（計算では20.8秒）の確認を行った。

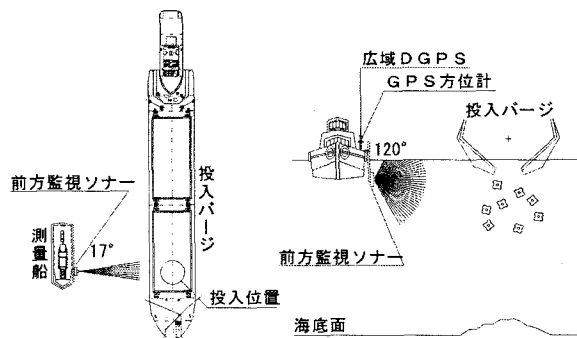


図-10 ブロックの落下挙動観測状況図

(2) 堆積形状計測

ブロック投入前の地形および各航海での投入前後の出来形計測には、GPSとナローマルチビーム測深ソナーおよび同様補正装置を組み合わせたリアルタイム地形計測システム（ペルーガスシステム）を用いた（図-11）。

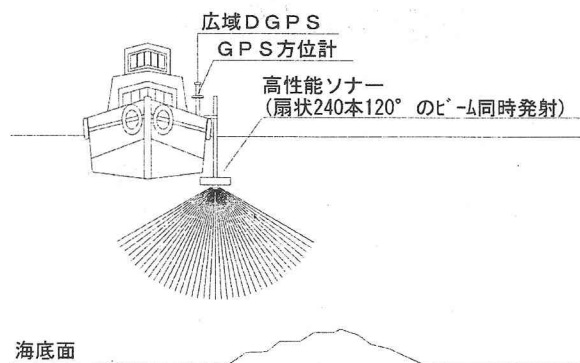


図-11 堆積形状計測状況図

(3) 流れの影響を考慮した堆積形状予測モデル

上述した様に、設計中心への積み重ねを目指した施工管理においては、位置補正の精度が確保されていけば良い。しかしながら、マウンドの築造工事全体を考えれば、既往の出来形を考慮して堆積場所を決める必要性が必ず生じるが、現在のところこうした条件に適用できるモデルはない。

そこで、本施工管理システムでは、土運船による土砂堆積形状予測手法である松見ら(1990)のモデルを拡張して適用する²⁾。この方法では、鉛直下方への落下各区分における水平方向のブロック拡がり、実験あるいは現地での取得パラメータとなる標準偏差 σ 、平均値 μ を用いた正規分布として表している。本研究においても、実際の堆積形状との比較から、これらのパラメータに関する考察が可能である。

また、流れ場の影響を取り込むために、深度 z_n において (u_n, v_n) なる水平流速がある場合、鉛直方向刻み Δz を沈降する間の水平移動量として、

$$\begin{aligned}\Delta x_n &= \alpha_n u_n (\Delta z / w_n) \\ \Delta y_n &= \alpha_n v_n (\Delta z / w_n)\end{aligned}\quad (3)$$

の変位を付加する改良を加えている。ここで、 w_n ： z_n での沈降速度、 α_n ：水平方向流速の補正係数である。

4. 施工管理システムの適用結果

(1) 落下状況および堆積形状

落下状況を前述の前方監視ソナーにてとらえブロックの沈降時間を確認した。対角で落とした16個のブロックの落下状況にはバラツキが見られるが、その平均沈降時間は約21秒であり、投入位置補正の

計算で使用している沈降時間とほぼ一致した。

ペルーガスシステムにより計測した堆積形状の断面を図-12に示す。中心部分には若干の尖りが見られるが、ほぼ円錐形断面となっていることがわかる。こうした出来形より、1755個のブロック投入において構築した施工管理システムが有効に機能していたことが明らかである。

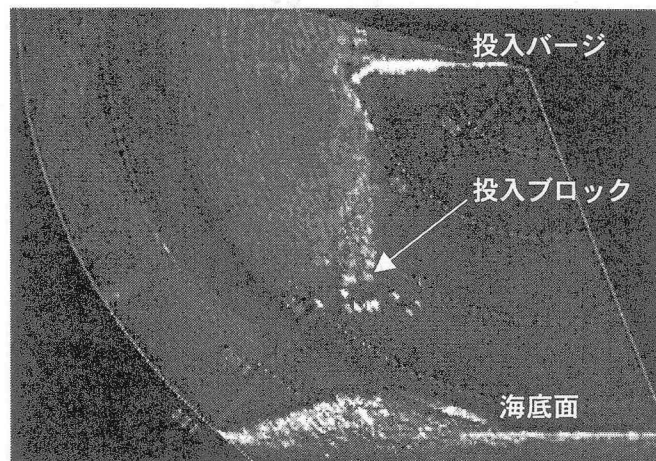


写真-1 ブロックの落下状況

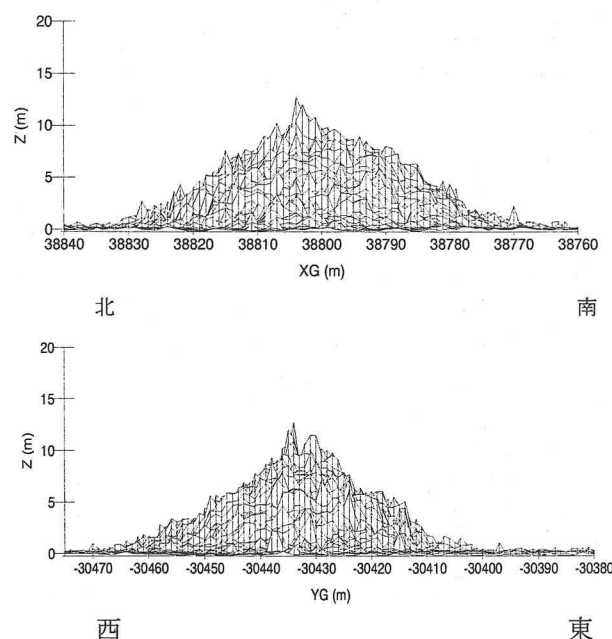


図-12 出来形断面図

(2) 施工管理システム運用の効果

図-13は、海上でのブロック投入位置の座標と設計中心、堆積中心との位置関係を示したものである。最終的な堆積形状の堆積中心は、設計中心から南方向に3.5m、西方向に0.9mずれているが、それぞれブロック2.2個、0.6個程度の差となっている。同図に示すように、ブロックの投入位置は、南北方向15m、東西方向20mの範囲にちらばっていることを考慮すれば投入位置補正の妥当性が明らかである。

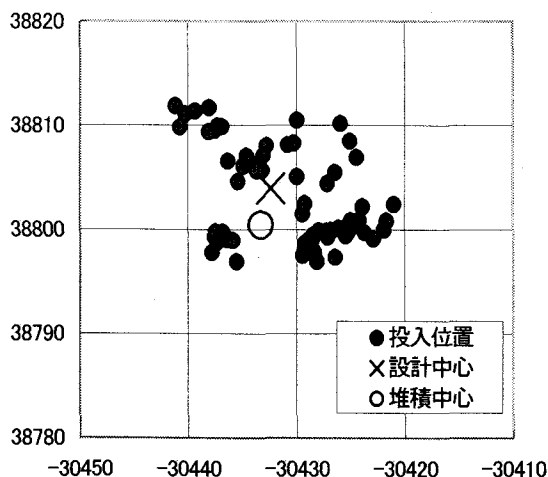


図-13 海上投入位置と設計，堆積中心の関係

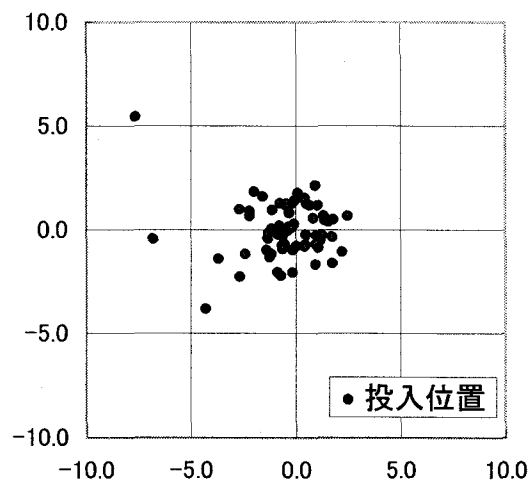


図-14 投入位置の誤差

5. 考察と課題

複雑な鉛直流速分布と変動を見せる大水深域での投入にもかかわらず，堆積中心のずれは設計中心からわずか4m以内に収まっており，今回適用した投入管理システムの妥当性が示された。

わずかブロック2個程度，水深比4.7%の誤差であるが，こうした誤差の要因としては，①誘導した投入位置と実施に投入した位置の誤差，②1月の荒天時に実施した7回目，8回目の投入において，ADCPを土運船に艀装したために，投入終了までの流況モニタリングが継続できなかった点が挙げられる。図-14は，8航海，計64回の投入における投入位置の誤差を示したものである。5mを超えるような大きな誤差を示した投入ケースは，全て施工初期のものであり，これらが堆積中心のずれの一因となっているものと推測される。しかしながら，施工初期の数回を除けば，半径2m程度の設定誘導範囲での投入ができていることが明らかである。

堆積形状の予測モデルに関しては，水理実験結果，実測の堆積形状との比較から，概ね標準偏差 $\sigma=2.2$ 程度，平均値 $\mu=0.0$ であることが分かっており，今後の投入管理に必要なパラメータを取得する事ができた。

6. おわりに

今回，湧昇流を人工的に発生させる広域漁場の整備事業として，長崎県宇久島沖の大水深域にブロックを投入した。その施工管理のために，既往の流速計測技術，位置測定技術，堆積形状予測モデル，ブロック落下モニタリング，堆積形状計測技術を組み合わせた統合的システムを開発し適用した結果，十分な精度で円錐形のマウンドを造成することが可能となった。

謝辞：今回の施工管理システムを実施時の投入管理に適用するにあたり，施工を担当した東亜・大石建設工事共同企業体樋高浩一所長をはじめとする所員一同の協力をいただいた。また，投入位置の補正ならびに堆積形状予測モデルのブロックへの適用にあたっては，鳥取大学松見助教授より，貴重なご助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 矢内栄二，太田正規，松見吉晴：確率モデルを用いた土砂堆積形状予測計算におけるパラメータ設定法，土木学会年次学術講演会講演概要集第2部，第53巻，pp. 168-169，1998.
- 2) 松見吉晴，岸口孝文：捨石マウンド築造時のバージ船の配置位置について，海岸工学論文集，第37巻，pp. 769-773，1990.