

## 軽量動的コーン貫入試験を用いた干潟地盤の調査

## Geotechnical Investigation of Artificial Tidal Flats by Light-Weight Dynamic Cone Penetrometer

松井章弘	Akihiro MATSUI	(中電技術コンサルタント)
土田 孝	Takashi TSUCHIDA	(広島大学大学院工学研究科)
川崎大輔	Daisuke KAWASAKI	(広島大学大学院工学研究科)
森 宏美	Hiromi MORI	(広島大学工学部)

瀬戸内海沿岸の三箇所の人工干潟において、軽量動的コーン貫入試験を用いて覆砂層と浚渫土層の貫入抵抗値を測定し、覆砂層における生物生息条件の評価指標としての適用性、覆砂層下部の粘性土の強度評価と圧密度の推定方法としての適用性について検討を行った。軽量動的コーン貫入試験機を用いることで、人工干潟の層厚の推定、浚渫土層の圧密度の評価が可能と考えられる。また、覆砂表層の貫入抵抗値が各干潟で大きな差があった。これらの差には波浪や潮流などの水理学的な条件や生物の活動の程度が影響していると考えられる。佐々らが提案したアサリの潜砂限界強度を貫入抵抗値に換算し、三箇所の干潟の表層の貫入値との比較しアサリの生息状況について考察した。

キーワード：人工干潟，コーン貫入試験，原位置試験，浚渫土 (IGC : C03, C08, H07)

## 1. はじめに

我が国の沿岸域には多くの自然干潟や藻場が存在し、古くから魚貝類の住処や産卵・成長の場として、潮干狩りやバードウォッチング等の憩いの場としての機能を果たしていた。これらの干潟・藻場の多くは、沿岸域における産業や都市の発展とともに、埋め立てなどによって消失した。しかし、1980年代後半からは、瀬戸内海沿岸域を中心に、沖合に潜堤を構築しその中を浚渫粘土で埋め立てて覆砂するという方法で干潟や藻場の造成が行われてきた<sup>1),2)</sup>。

広島県内の造成干潟を見ると、尾道糸崎港海老地区干潟のように、造成から約20年が経過して生態系が安定し、アサリの生産の場としての機能を果たしている干潟がある<sup>3),4),5)</sup>。また、広島港五日市人工干潟のように、渡り鳥の生息のための干潟として機能しつつ、浚渫土層の沈下による干潟面積の減少や覆砂層の細粒分の流出に対処するため、覆砂の追加による微地形の創造などの対策を施している干潟もある<sup>6),7)</sup>。

人工的に造成された干潟の地盤特性に関しては、2000年以前はあまり研究されていなかったが、近年、生物生息環境と関連付けながら調査が行われるようになってきた。阿久津らは、アサリの生息と表層底質の硬さの関係に注目し、ポータブルコーン貫入試験機で測定した表層底質の貫入抵抗とアサリ生息数に関連があることを報告している<sup>8)</sup>。さらに、最近、佐々らは、干潟底質の強度が生物の活動に密接に関係していることを、綿密な実験によって明らかにしている<sup>9)</sup>。佐々らは、高精度ベーンせん断試験機を用い

て底質の強度を測定し、強度の異なる底質においてアサリの潜砂活動を観察した。その結果、アサリの「潜砂可能な限界の底質強度」が存在することを報告している<sup>11)</sup>。また、鳥の採餌活動とサクシヨンの関係についても調査し、鳥の餌となる底生生物は、干出時のサクシヨンが発達していない場所ほど種類数が多いことを明らかにした。

しかしながら、実際の干潟底質の強度特性を調査し生物生息環境との関係について検討した事例は少ない。また浚渫土で埋め立てて覆砂を行い造成した人工干潟では、浚渫土の沈下を管理するために圧密度の推定を行う必要があるが、人工干潟地盤は非常に軟弱である上、現場で作業できる時間が干出時に限られるため通常の地盤調査技術が適用できないという問題がある。

本研究では、軽量動的コーン貫入試験を用いて、瀬戸内海沿岸の三箇所の人工干潟において干潟の覆砂層及び浚渫土層の貫入抵抗値を測定した。この測定により、覆砂層の厚さと覆砂層下部の粘性土の強度・圧密度の推定を行い、生物生息環境の観点から覆砂層の硬さの評価について検討を行った。

## 2. 調査内容

## 2.1 軽量動的コーン貫入試験

干潟の原位置での貫入抵抗を求めた事例としては、阿久津ら<sup>3)</sup>、奥宮ら<sup>11)</sup>の研究があり、いずれもポータブルコーン貫入試験(コーンペネトロメーター)によって貫入抵抗を測定している。ポータブルコーン貫入試験は現地に携帯して表層地盤に押し込み貫入抵抗値を測定する簡易な試験

方法であるが、貫入抵抗が 1MPa 以上になると硬いため人力で貫入することがしだいに困難になりバラつきが多くなる。適用限界は 1.5MPa 程度であるので、干潟表層の硬さを調べるには試験方法が十分適用できるが、覆砂層から浚渫粘土層を含めた人工干潟地盤全体の地盤特性を把握することはできない。

軽量動的コーン貫入試験は 1980 年代後半にフランスで盛土の締固め管理を行う目的で開発され、わが国では最近 5 年間で普及してきた試験法である<sup>12),13)</sup>。広島大学地盤工学研究室では軽量性と効率性を活かして本試験を自然まき土斜面の強度評価に用いることを提案しており<sup>14)</sup>、さまざまな用途での利用が進められているが、干潟地盤の評価に用いた事例はない。

軽量動的コーン貫入試験は、**図-1** に示すような機材で構成され、ハンマーでヘッドを打撃してコーンを地盤に貫入させて行く。ハンマーでヘッドを打撃すると、ヘッドに設置されている加速度計で衝突の加速度を計測し、巻取り式テープで貫入量を計測する。これらの値から中央演算装置で貫入抵抗値  $q_d$  を計算し、1 回ごとの貫入量の累積値  $d$  とともにデータロガーに表示・記録する。50cm 貫入するごとに新たにロッドをつないでいき、通常は深度 5m 程度までの試験が可能である。本試験機の特徴をまとめると以下のようなになる。

- ①ハンマーによる打撃で貫入抵抗と貫入深度をデータロガーに自動収録できる。
- ②器材の総重量が 20kg と軽量であることから自然斜面や狭い作業現場、干潟など、車両や大型機材を使用できない現場での調査に適している。
- ③使用に慣れていない調査者でも一人で安全に試験可能であり熟練がいらない。

本機の先端に装着するコーンは、断面積  $2\text{cm}^2$  の回収できるものと  $4\text{cm}^2$ 、 $10\text{cm}^2$  の使い捨てのものがあり、地盤の硬さによって選択する。 $2\text{cm}^2$  のコーンはもともとロッドについている鉄製のものである。本調査では対象地盤が干潟表層の覆砂及び浚渫粘土層であることから、 $10\text{cm}^2$  のコーンを主に使用し、覆砂層の貫入抵抗が大きい場合は  $2\text{cm}^2$  のコーンを使用した。コーンはいずれも鉄製であるが、 $10\text{cm}^2$  のコーンは貫入後に回収できず地盤内に残るため、環境への影響を軽減するため木製のコーンを作成して使用した(**写真-1**)。

貫入抵抗値  $q_d$  の計算には次式を使用している。

$$q_d = \frac{1}{A} \cdot \frac{1/2 MV^2}{1 + \frac{P}{M}} \cdot \frac{1}{x_{90^\circ}} \quad (1)$$

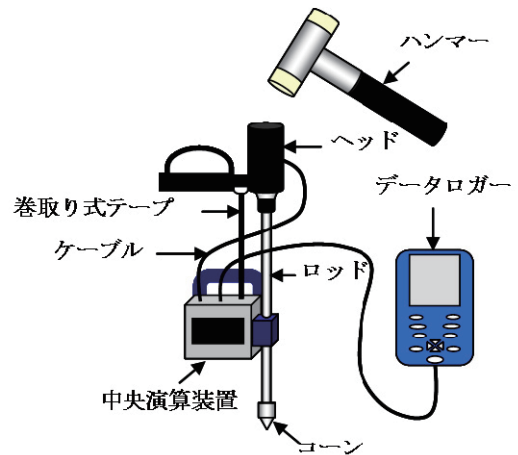


図-1 軽量動的コーン貫入試験機

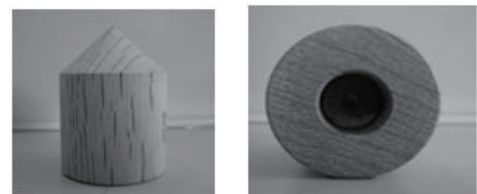


写真-1 木製コーン(断面積  $10\text{cm}^2$ )



写真-2 尾道港海老地区干潟における試験実施状況

ここで、 $A$ : コーン断面積、 $M$ : ハンマー打撃部分の質量、 $V$ : ハンマーの衝突速度、 $P$ : 計測器の被打撃部分の質量、 $x_{90^\circ}$ : 1 回の打撃による貫入量(コーン角度  $90^\circ$ )である。

## 2.2 調査場所

今回調査を行った場所は、造成後 19 年経過している広島県尾道市糸崎港海老地区人工干潟、造成後 20 年経過している広島県広島港五日市地区人工干潟、造成後 1 年半との山口県徳山港大島人工干潟である。試験実施状況を**写真-2**に示す。

### 3. 調査結果

#### 3.1 尾道糸崎港海老地区人工干潟

2009年9月18日, 10月5日調査を行った. 調査地点を図-2に示す. 調査は岸側から一定間隔で測線を伸ばし, その測線に沿って貫入試験を行った.

図-3は各測点における深度と貫入抵抗値の関係である. 図をみると, 覆砂層と浚渫土層の間で貫入抵抗  $q_d$  の明確な変化がみられる. すなわち, 覆砂層の貫入抵抗は表層付近で100~200kPaであるが, 深さとともに急増して300kPa以上となっている. 覆砂層下の粘土層上面(本干潟では深さ0.5~1.5m)において  $q_d$  は100kPa前後の値となり深度とともに緩やかに増加している.

このように貫入抵抗値の変化から覆砂と浚渫土層の境界を判断し覆砂層厚の評価が可能である. なお, A-1点では深さ50cmまで覆砂層相当の貫入抵抗が得られ, その下では急激に  $q_d$  値が高くなって貫入不可能となった. これはこの付近ではもともと水深が浅く, 浚渫土の埋め立てが無かったためである.

本干潟は造成時は覆砂層厚50cmであったが, 今回計測した範囲では覆砂層厚は36~134cm(平均70cm)であり, 調査地点によって大きな変動があることがわかった. これは建設後の波浪や潮汐の影響により覆砂が移動したこと, 干潟を管理するための耕耘が行われたことにより, 場所によって覆砂厚さが変動したと考えられる.

次に, 浚渫土の圧密の状態について推定する. 貫入試験のデータより覆砂層厚を算定し, 覆砂及び浚渫土層の単位体積重量, 正規圧密時の強度増加率  $c_u/p$  を0.3と仮定し, 圧密終了時の強度を算定して原位置の強度との比較を行った. 検討に用いた各パラメータを表-1に示す. 浚渫粘土の非排水せん断強度と貫入抵抗値  $q_d$  の関係は室内実験で求め, 次式の関係が得られた.

$$c_u = \frac{q_d}{26.9} \quad (2)$$

また, 表-1のように覆砂の単位体積重量  $\gamma$  は, 水中重量  $8\text{kN/m}^3$ , 湿潤重量  $18\text{kN/m}^3$  とした.

図-3の中に圧密度の推定を示すが, 赤線は覆砂単位体積重量  $\gamma' = 8\text{kN/m}^3$ (水中)の土被り圧で圧密が終了したとして推定した貫入抵抗値  $q_d$ , 緑線は覆砂単位体積重量  $\gamma_t = 18\text{kN/m}^3$  に対して圧密が終了したとして推定した

表-1 圧密度の推定に用いたパラメータ

覆砂の単位体積重量	$\gamma'$ (水中)	$8\text{kN/m}^3$
	$\gamma_t$ (湿潤)	$18\text{kN/m}^3$
浚渫土の単位体積重量 $\gamma'$		$4\text{kN/m}^3$
強度増加率 $C_u/p$		0.3
コーン係数		26.9

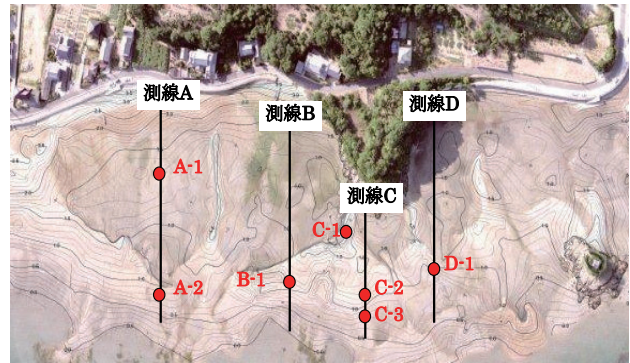


図-2 調査地点(尾道港海老地区人工干潟)

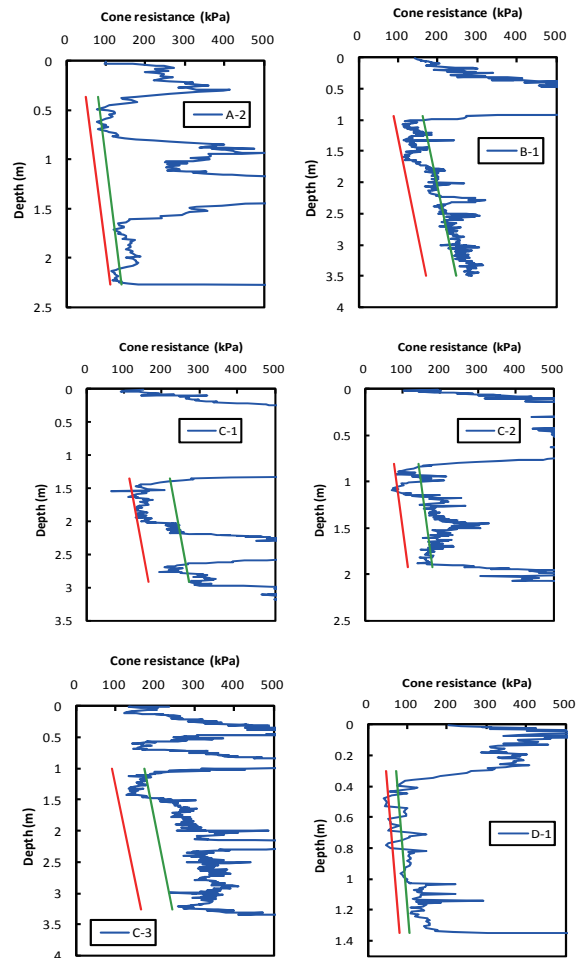


図-3 各測点における深度と貫入抵抗値・圧密度の推定 (赤線は覆砂水中重量, 緑線は覆砂湿潤重量に対する)

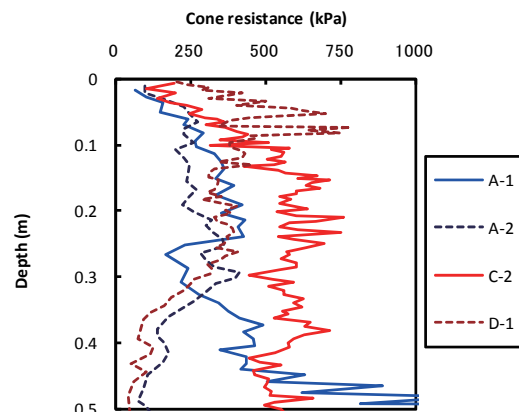


図-4 測線 A と測線 C, D での貫入抵抗値の比較

貫入抵抗値  $q_d$  である。図をみると、全体として貫入抵抗は深さ方向にほぼ推定線と同様の勾配で増加しており、値も同程度であり圧密は終了していると考えられる。しかし A-2、C-3 のように湿潤重量の土かぶり圧で圧密が終了した後の推定強度より 4 倍以上の貫入抵抗値がみられる深度があった。このような大きな値が得られた原因としては、施工時に粘土と砂層が混じり合ったこと、潮汐・波浪などの外力による影響が考えられるが、現段階では説明が困難であり、今後さらに検討する必要がある。

次に、覆砂層の貫入抵抗値について比較する。図-4 は測線 A の 2 点と測線 C-2、D-1 の表層 50cm の貫入抵抗である。図のように表層部分では 100~250kPa であるが深度とともに増加して覆砂層全体では 250~600kPa の範囲にあった。今回調査した地点の状況を大きく分けると測線 A 付近では、比較的地盤高が低くなっており、タイドプールや水路があり、常に表層が湿潤状態となっていた。一方、測線 C、D 付近は尾根の先端に位置する場所であり、干出時に表層が乾燥していた。図をみると測線 A 付近よりも測線 C、D において貫入抵抗値が高くなっており、干潟内の地形の相違が表層底質の硬さと関連していると考えられる。

### 3.2 徳山港大島人工干潟

徳山下松港大島人工干潟は、徳山下松港の浚渫土を活用し、漁業関係者や住民から要望が高いアサリ生育場の創造

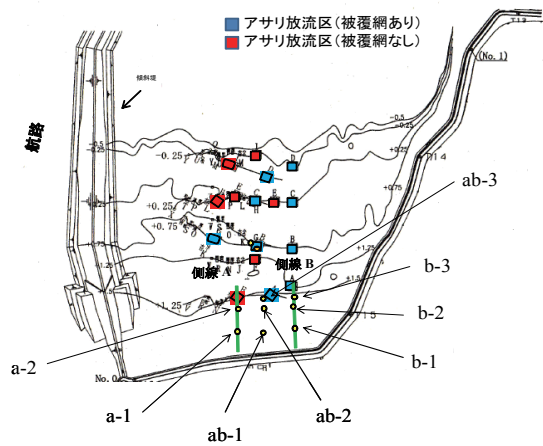


図-5 調査地点(徳山下松港大島地区人工干潟)

を目指して、平成 2006 年度より整備を開始し、平成 2007 年度から浚渫土の投入を行って 2008 年度に覆砂工事が行われた。調査は造成後約 1 年後の 2009 年 10 月 19 日と、1 年 8 ヶ月後の 2010 年 6 月に行った。

#### (1)2009 年 10 月の調査

調査測点を図-5 に示す。図のように本干潟ではアサリの放流区が設置されているが、2009 年 10 月の調査は陸地に近い部分に格子状に測点を設置して行った。図-6 は各測点における深度と貫入抵抗  $q_d$  値の関係である。本干潟においても尾道糸崎港海老老地区での結果と同様に覆砂層と浚渫土層で貫入抵抗に明確な差があり、覆砂層厚の評価が可能であった。沖側の測点 ab-3 の付近は貫入抵抗にバ

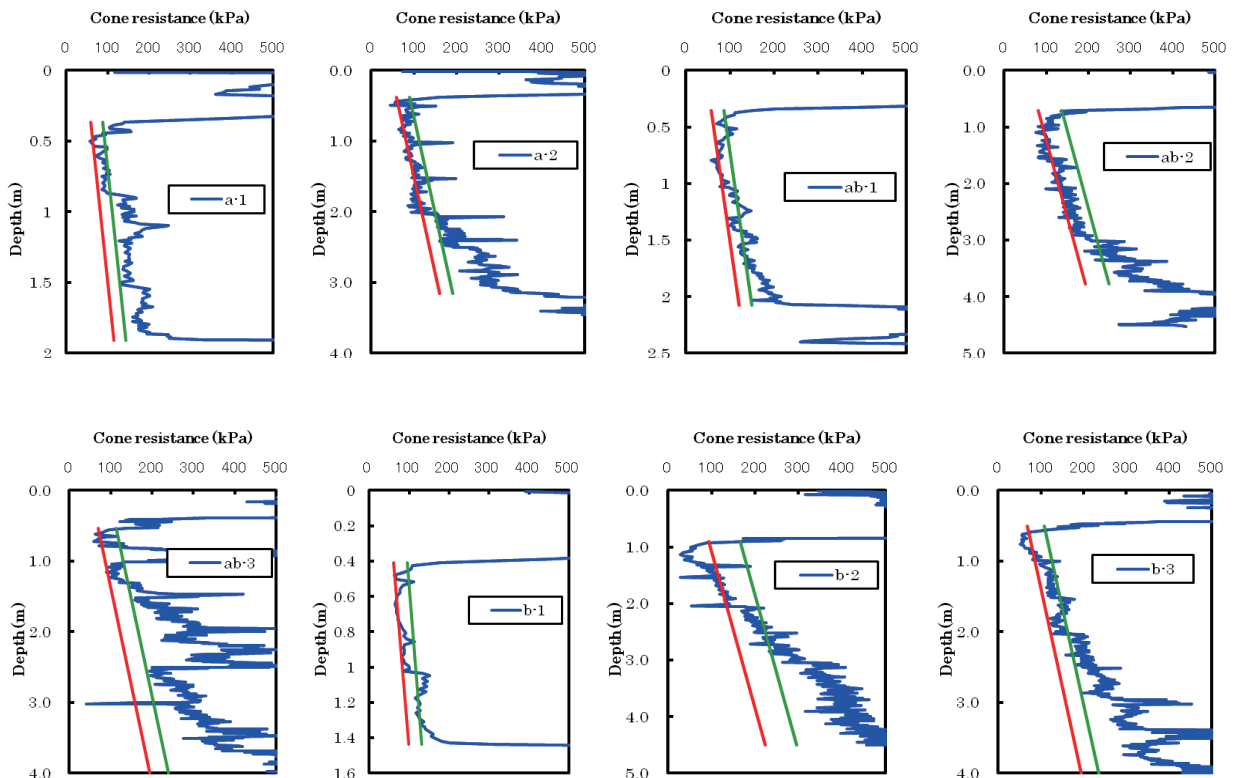


図-6 貫入抵抗値と深度の関係および圧密度の推定 (赤線: 覆砂  $\gamma'=8\text{kN/m}^3$ (水中), 緑線  $\gamma_t=18\text{kN/m}^3$ (気中))

ラつきがあるが、施工中に一部浚渫土の噴出しがあった付近であり砂と粘土が混じっている影響と考えられる。

表-1 のパラメータを用いて浚渫土の圧密度の推定を行い図-6 中に示した。なお、造成直後の強度は測定されていないが、一般に浚渫土は液性限界よりもやや大きい含水状態になっているので、この含水状態に対応する繰り返し強度である 1~2kPa の強度、 $q_d$  値に換算すると 27~40kPa と推定される。

図をみると造成後約 1 年と造成後の時間が短いため、浚渫粘土層の貫入抵抗値は圧密終了時の推定値に達していない。今後も圧密沈下と強度増加が続くと考えられる。また、a-2, ab-2, ab-3, b-2, b-3 点においては、深度が大きい層の強度の増加が大きく圧密終了時の予想強度よりもかなり大きくなっていった。この原因については今後さらに検討したい。

図-7 は測線 A と測線 B における覆砂 50cm までの貫入抵抗の比較である。図のように、深度 30cm までの貫入抵抗値は 500kPa であり、アサリの生育場として実績がある尾道糸崎港海老地区人工干潟に比べるとやや高い値となっている。

(2)2010 年 6 月の調査

2010 年 6 月の調査はアサリ放流区におけるアサリの生育調査と同時に実施された。アサリの生息が多数確認された放流区（食害を防止するための被覆網あり）において貫入試験（3 点）を行い、その後アサリ放流区（被覆網）の外（放流区よりも少ないがアサリの生息は確認された）においても 1 点で貫入試験による測定を行った。結果を図-8 に示す。

図のように、被覆網の下では覆砂層深度 30cm までの貫入抵抗値は図-7 に比べやや高めであるが、ほぼ 500~900kPa であった。これに対してアサリの放流区の外では深度 0.1m 以深で地盤強度が大きくなっており、アサリの生息が貫入抵抗値の差となって表れている可能性がある。

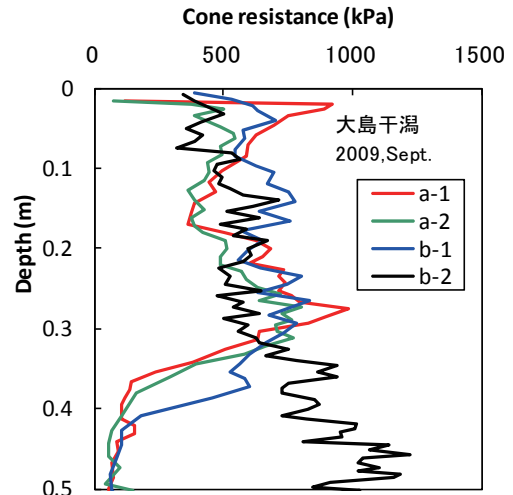


図-7 測線 A と測線 B における貫入抵抗値 (徳山下松港大島干潟)

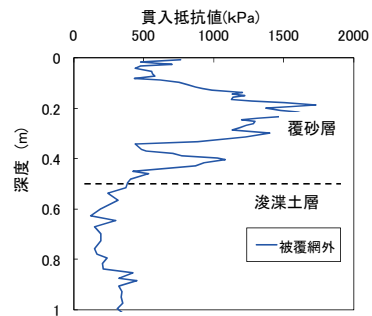
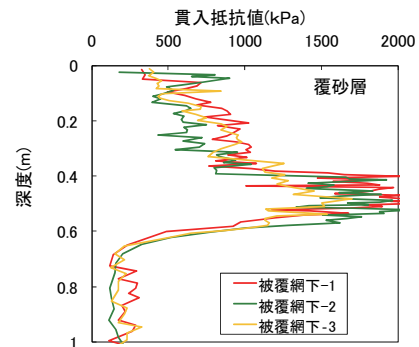


図-8 アサリ放流区における貫入抵抗値

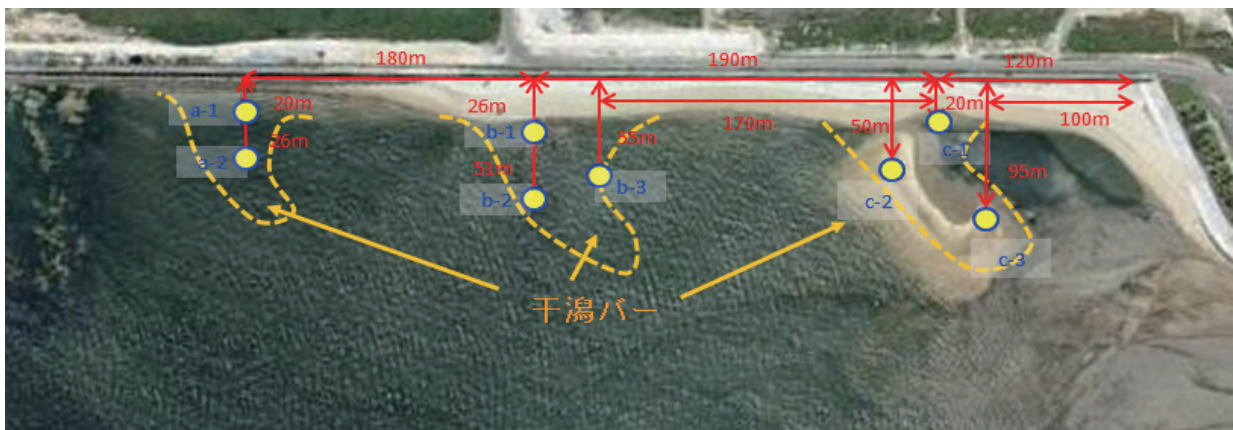


図-9 調査位置図 (広島港五日市人工干潟)

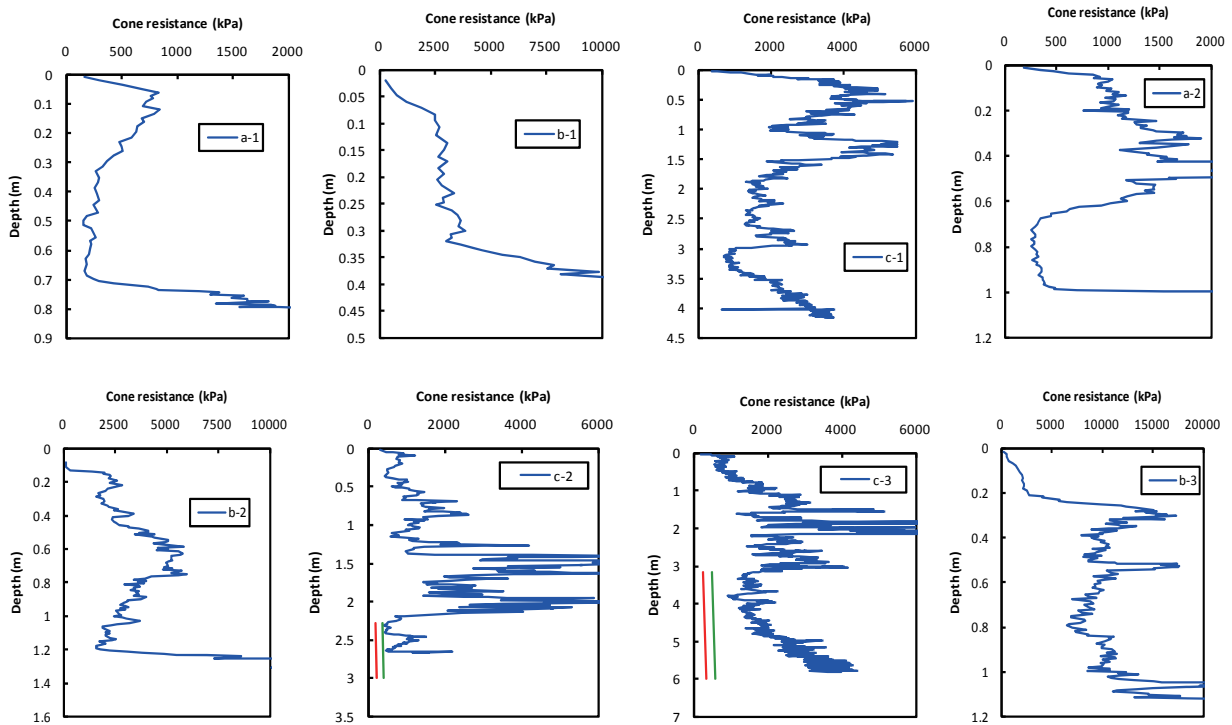


図-10 貫入抵抗値と深度の関係および圧密度の推定（広島港五日市地区人工干潟）

### 3.3 広島港五日市地区人工干潟

2009年12月13日、2010年1月7日に調査を行った。調査地点とその周辺を図-9に示す。

#### (1) 調査地点

本干潟は水鳥の飛来のための干潟として1992年に造成されたが、浚渫土層とその下の海底地盤が圧密沈下し、干潮時でもテラス部分しか干出ししない状態となった。そのため、2001年からⅡ期工事として、波浪対策として沖合に被覆石を設置し、波浪の影響低減とアオサ等の歩溜まり、八幡川からの流出土砂の堆積を目的に、盛土(干潟バー)地形を岸沖方向に現在のところ3箇所造成している。

今回の調査では、新たに造成した3箇所の干潟バーの位置で貫入試験を行った。測定点位置を図-9に示すが、a地点は最も沖側にあるバーであるが、表層は砂ではなく粘性土が堆積しており、表層は柔らかく人が立つことが困難な場所もあった。b地点は2つ目のバー地形にあたる場所であり、b-1はバーの始まり、b-2はバーの沖側、b-3はバーの内側である。c地点は一番八幡川河口に近いバーであり、c-1はテラスに位置する場所で、c-2はバーの外側、c-3はもっとも八幡川河口の自然干潟に近いバーの内側に位置する場所である。

図-9のように沖側のa、b地点と岸側のc地点で波浪や表層の状況は異なっており、a、b地点は、比較的波が高く生物の巣穴等は確認されなかった。一方、c地点は静穏で表層にアオサ等が堆積しており、生物の巣穴が多く確認

された。貫入試験の各測点の深さ方向の貫入抵抗値分布を図-10に示す。

浚渫土層の強度に着目すると、本干潟は新たに覆砂を足したこともあり、地点によって覆砂層厚が厚くこともあり浚渫土層まで貫入することができなかった。しかし、先端に断面積 $2\text{cm}^2$ のコーンを使用し、測点c-2、c-3で浚渫土層の貫入抵抗値を測定した。c-2における浚渫土層の強度は上端が $400\text{kPa}$ 程度で、深くなるとともに $\gamma_r=18\text{kN/m}^3$ で推定した貫入抵抗の推定線に沿って増加していた。c-3

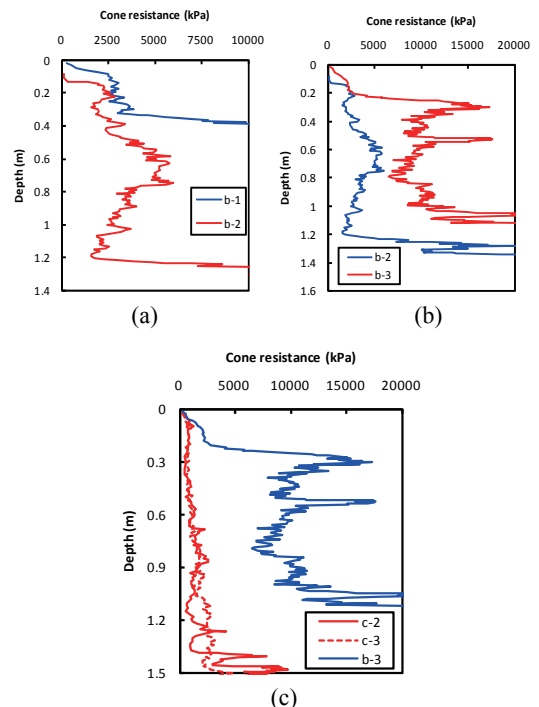


図-11 覆砂層の貫入抵抗値の比較（五日市地区人工干潟）

軽量動的コーン貫入試験を用いた干潟地盤の調査

では 3m 以深が浚渫土層であると推定されるが、圧密後の強度推定値の 2 倍以上の貫入抵抗値が測定された。このような強度増加は尾道系崎港海老地区の干潟でも見られているが、その原因については今後さらに検討が必要である。

次に覆砂表層の強度について地点ごとに比較する。図-11(a)は b-1 と b-2 の覆砂の貫入抵抗の比較である。表層 10~15cm はどちらの地点も 300~500kPa と比較的柔らかく、それを超えると約 2,500kPa 程度の強度で深さ方向に分布し、ある深さから貫入抵抗が 10MPa 以上になり、ロッドの貫入が不可能になった。この深さの違いは、新たに敷いた砂の厚さの違いであり、貫入抵抗が 10MPa 以上になる深さで深に、元々の覆砂が堆積していると思われる。

図-11(b)は沖側のバー頂上にあたる b-2 とそのバー地形の内側にあたる b-3 の貫入抵抗の比較である。図をみると、バーの内側のほうが覆砂の強度が硬くなっている。バー頂上付近は沖側からの波が砕波する場所であり、外力により表層の数 cm は干満によって常に動かされるため、土砂が緩く堆積していると考えられる。一方、バーの内側では波浪などの外力の影響が少なく、土砂が安定しているので深度 20cm 以深の砂は徐々に砂が締め固まったと思われる。

図-11(c)は 2 番目のバーの内側 b-3 と最も岸側にあるバーの c-2, c-3 との比較である。図のように、c-2, c-3 の貫入抵抗が b-3 よりかなり低くなっている。これは、沖側の 2 つのバーにより、波浪の影響が低減されているためと考えられ、バー地形が干潟の環境に大きく影響していることが伺える。

4. 覆砂層の強度の比較と考察

これまでの干潟調査では覆土の硬さを調べるためにポータブルコーン試験の  $q_c$  値が用いられている。これらのデータと本調査で行った軽量動的コーン貫入試験のデータを比較するため、五日市人工干潟において両試験を実施し、コーンペネトレーション試験で得られる  $q_c$  値と軽量動的コーン貫入試験で得られる  $q_d$  値の関係を求めた。

図-12 は同一地点での  $q_c$  値と  $q_d$  値の比較したものである。図より、両試験の結果とも深さ方向に同様な傾向で貫入抵抗が分布している。 $q_c$  と  $q_d$  値の関係より以下の換算式を得た。

$$q_c = 0.76q_d \tag{3}$$

図-13 に各干潟における覆砂の粒径加積曲線を示した。自然干潟の盤州干潟と西浦人工干潟についても奥宮らの文献により比較のため示している<sup>4)</sup>。これらの干潟は同じ

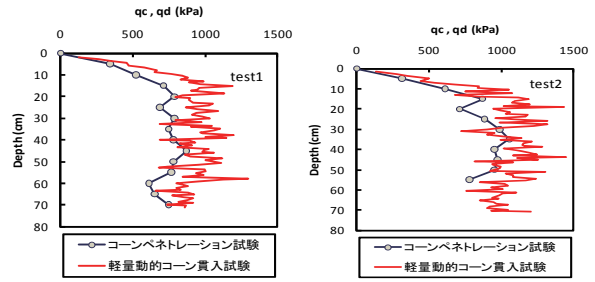


図-12  $q_c$  値と  $q_d$  値の比較 (五日市地区人工干潟)

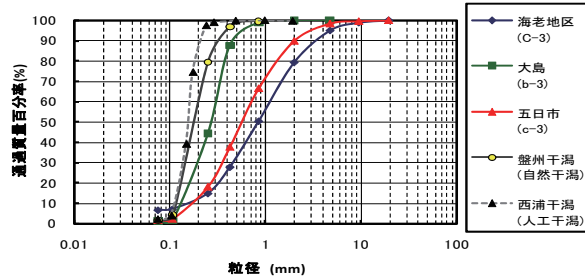


図-13 各干潟の覆砂の粒径加積曲線

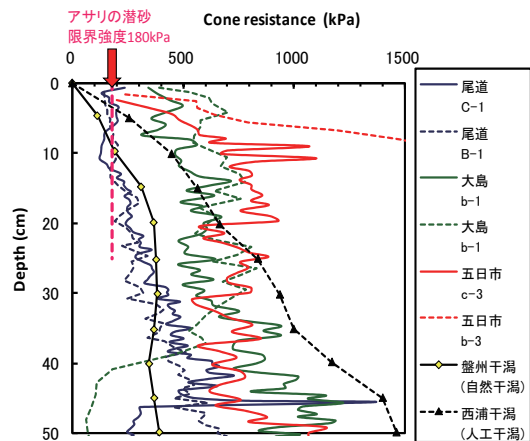


図-14 各干潟の表層の深さ方向の貫入抵抗分布の比較

ような粒度組成であるが、今回調査した 3 か所より粒径が細かく均一であった。海老地区と五日市は大島干潟より均等係数が大きく、粗砂 (0.425~2mm) を多く含んでいる。一方大島干潟は粒径が均一でほぼ細砂 (75  $\mu$ m ~ 425  $\mu$ m) で構成されている。また、細粒分含有率は、大島・五日市及び既往の 2 つの干潟では 1.32~2.36% と少ないが、海老地区では 6.68% と細粒分が多かった。

図-14 は本調査で行った 3 か所の干潟の代表的な貫入試験の結果と 2 か所の干潟 (盤州干潟と西浦干潟) のデータを  $q_d$  値に換算して示したものである。表層の  $q_d$  値は尾道海老地区では 3~10cm の貫入抵抗の平均値が 220kPa と最も低く、大島干潟と五日市人工干潟は海老地区より約 2 倍以上であった。また、自然干潟である盤州干潟の貫入抵抗は深さ 10cm 以浅で約 200kPa 以下であり、人工干潟の西浦干潟 (造成後 3 年経過時) は 400kPa であった。佐々らが報告したアサリの潜砂可能な表層の限界値は表

層部分のベーンせん断強度で0.25kPaであった。

図-15はあらかじめ作成した室内土層において測定した覆砂表層のベーンせん断強度と表層3~10cmの貫入抵抗値の関係である。この関係式により換算を行なうと、貫入抵抗値は180kPaとなった。図-14をみると深度10cmで $q_d$ が180kPa以下になっているのは、尾道糸崎港海老地区の干潟と盤州干潟であり、徳山下松港大島干潟、広島港五日市地区干潟、西浦人工干潟はこの値よりも大きくなった。しかし、すでに述べたように大島干潟ではアサリの放流区が設置されアサリが数多く生息していることを確認している。本研究では室内の限られた条件でベーンせん断強度と $q_d$ 値の関係を求めているので180kPaという換算値の妥当性についてはさらに検討する必要がある。

## 5. 結論

軽量動的コーン貫入試験を用いて、瀬戸内海沿岸の三箇所の人工干潟において干潟の覆砂層及び浚渫土層の強度を測定し、強度増加率を仮定して覆砂層下部の粘性土の強度から圧密の進行度合いを検討した。また、覆砂層における生物生息条件の評価指標としての適用性について検討を行った。主な結論は以下の通りである。

- 1) 軽量動的コーン貫入試験により人工干潟の層厚の推定、浚渫土層の圧密度の評価が可能と考えられる。なお、圧密終了後の推定強度の2倍以上の貫入抵抗値を示す場合もありその原因について今後検討が必要である。
- 2) 同様の粒度の覆砂層でも表層の貫入抵抗値には大きな差があった。この差には波浪や潮流などの水理学的な条件や生物の活動の程度が影響していると考えられる。
- 3) 佐々らが提案したアサリの潜砂限界強度を軽量動的コーン貫入試験の $q_d$ 値に換算し、表層の貫入値と比較した結果、アサリ生息場である尾道糸崎港海老地区干潟では換算限界値より小さかった。徳山下松港大島干潟の貫入抵抗値は換算限界値よりも大きかったが、アサリの生息が確認されており、換算限界値の妥当性は今後さらに検討する必要がある。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、平成22年度科学研究費補助金(基盤A, 採択番号:21241021)、(財)港湾空港技術サービスセンター22年度研究開発助成をいただいた。また、中国地方整備局宇部港湾事務所、(財)港湾空間環境高度化研究センターよりご協力いただいた。ここに期して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハン

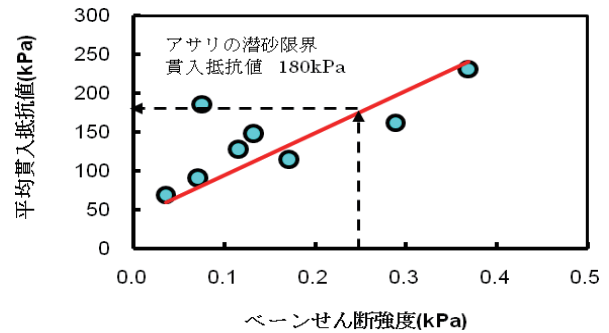


図-15 ベーンせん断強度と平均貫入抵抗値の関係

ドブック, 第2巻干潟編, 国土交通省港湾局監修, (株)ぎょうせい, 2003.

- 2) 細川恭史：人工干潟・海浜の造成の可能性, 沿岸海洋研究, 第39巻, 第2号, pp.107-115, 2002.
- 3) 大山洋志：浚渫土を用いた干潟・藻場再生事業, 土木施工44巻7号, pp.38-43, 2003.
- 4) 春日井康夫, 久本忠則, 中山康二, 松本英雄：広島県尾道糸崎港における干潟再生事業, 海洋開発論文集, Vol.19, pp.107-112, 2003.
- 5) 篠崎孝, 羽原浩史, 山本裕規, 明瀬一行, 竹口はや人, 吉武理恵, 土田孝：造成干潟における機能発揮要因に関する研究, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1026-1030, 2006.
- 6) 広島県, 復建調査設計株式会社：広島港五日市地区人工干潟工事誌, pp.1-86, 平成8年3月, 1996.
- 7) 広島県広島港湾振興局：広島港五日市地区人工干潟環境モニタリング記録, pp.1-112, 2001.
- 8) 阿久津孝夫, 山田俊郎, 佐藤仁, 明田 定満, 谷野賢二：アサリの生息と底質の硬度, 粒度との関係について, 開発土木研究所月報, 第503号, pp.22-30, 1995.
- 9) 佐々真志, 渡部要一：アサリの潜砂限界強度について, 海岸工学論文集, 54巻, pp.1196-1200, 2007.
- 10) 佐々真志：生態地盤学の創成と土砂性能照査型干潟再生指針の開発, 港湾空港技術講演会講演集, pp.29-50, 2007.
- 11) 奥宮英治, 桑江朝比呂, 萩本幸将, 小沼晋, 三好英一, 野村宗弘, 中村由行：干潟底泥の強度特性と環境要因との関係-コーン貫入試験を用いた調査-, 港湾技研資料, No.1002, 2001.
- 12) Cassan, M.: Les essays in situ en mecanique des sols, realization et interpretation, Eyrolles, Paris, 2nd ed. Vol. 1, pp. 146-151, 1988.
- 13) Langton, D.D.: The PANDA-lightweight penetrometer for soil investigation and monitoring material compaction, Ground Engineering., September, pp. 33-37, 1999.
- 14) Athapaththu A.M.R.G., Tsuchida, T., Suga, K., Nakai, S and Takeuchi J : Evaluation of in-situ strength of Masado slopes, Journal of Japanese Society of Civil Engineers-C, Vol.63, No.3, pp.848-861, 2007.

(2010年7月5日 受付)