

浚渫粘土の圧入による人工干潟の造成技術に関する実験的検討

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○川崎大輔
広島大学工学部 非会員 森宏美
広島大学大学院工学研究科 正会員 土田孝

1. 背景と目的

港湾はその機能を維持・整備するため、航路や泊地の浚渫が定常的に必要になる。しかし、浚渫によって発生する泥土（浚渫土）の処分場建設には多大な費用を要し、環境の観点からも処分のための海面埋め立ては難しくなっているため、多くの港湾管理者が浚渫土の処分に悩まされており、埋立以外の安定的な利活用方法の確立が大きな課題となっている。

わが国の港湾では、人工干潟の造成が 1980 年代から活発に進められ、シルトや粘土を多量に含む浚渫土も埋立柱として用いられてきた。しかし、干潟はあらかじめ策定された計画にもとづいて潜堤を建設し、その内部に浚渫土を集中的に投入し覆砂を行って造成されており、干潟造成中は大量の浚渫土が材料として必要になるが、干潟が完成した後は浚渫土を受け入れることはできない。このため、港湾の維持・整備のために行われる浚渫事業と干潟造成事業との綿密な調整が必要になり、現状では浚渫土の安定的な利活用方法とはいえない。

このような観点から、昨年度より、干潟造成後に浚渫土を覆砂層の下部に圧入する方式による干潟造成方法に関する検討を行っている。具体的には、室内で 1/25 スケールの干潟模型土層を作成し、浚渫土の圧入実験を行った。しかし、圧入粘土が圧入口付近で偏って圧入されるため、圧入限界に達するまでの圧入可能量が少なくなってくる課題が残されており、圧入方法の改善が求められる。そこで本研究では、これらの課題を解決する目的で圧入に何点かの改良を加え、改良点による効果を検討する。

この圧入技術が実用的なレベルで確立できれば、圧密沈下で低下した地盤高を回復したり、いったん造成した干潟を使用しながら、浚渫土を内部に圧入して拡張するなどの、新たな干潟の整備方法が考えられる。

2. 昨年度室内圧入実験

(1) 実験の概要

実験装置の構成を図-1 に示す。実験には大きさが幅 100cm×100cm、高さ 50cm のアクリル製模型土槽を用いた。粘土の強度は重力場での相似則により、実験は実スケールの 25 分の 1（寸法および粘土地盤、圧入する粘土の粘着力）に設定して行った。粘土試料は強度調整の比較的容易な木節粘土（液性限界 62.56%、塑性限界 39.46%）を用いた。圧入はスラリー状の粘土が入った圧入容器に空気圧を加えて、送泥管を介して圧送し、あらかじめ土槽内の真ん中に設置された圧入口から行う。実験では中詰め粘土の層厚は 10cm、15cm、20cm の 3 パターンで、それぞれのケースにおいて圧入速度が速い場合と遅い場合の 2 パターンずつで計 6 パターンを行った。

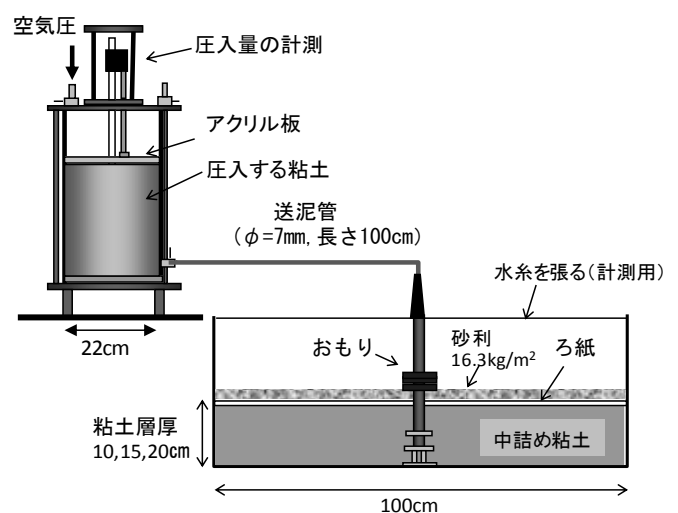


図-1 昨年度実験概要図

(2) 昨年度圧入実験の結果

今回の各実験ケースにおける圧入量，中心での変化量，影響面積を表-1に示す．なお圧入量については表層に亀裂が発生したとき，または実スケールで 100m^3 に相当する $6,400\text{cm}^3$ の圧入量に達したときとし，影響面積は地盤高が 1cm 以上上昇した範囲と定義した．表-1に示すように圧入量としては実スケールで 100m^3 に相当する最大 $6,482\text{cm}^3$ の圧入が可能であった．また層厚が大きく，圧入速度が遅いほど，圧入できる粘土の量は増加する傾向があった．

圧入後の地盤高変化を図-2に示す．図のように地盤高が 1cm 上昇する影響面積は圧入管を中心に直径 $50\sim 80\text{cm}$ の範囲であるが，これは実スケールでは $12.5\text{m}\sim 20\text{m}$ に相当する．

写真-1はCase6における圧入後の圧入管から 5cm の位置の中詰め粘土層をアクリル板で切断した断面図である．圧入側粘土とあらかじめ食紅で色を付けた中詰め側粘土の色の違いにより圧入時の地盤の挙動を確認した．図のように圧入した粘土は，圧入管を中心として鉛直方向に広がるように球根状かつ非対称に圧入されており，圧入初期においてより側方への促進が行われるような改善が求められる．

3. 改良による圧入実験

(1) 室内模型圧入実験の改良点

図-3に改良を行った室内実験装置の全体図と圧入口付近の拡大図を示す．圧入による圧入範囲拡大と，圧入形状の改善のために行った改良点を以下に示す．

- ①圧入時の圧入管付近の鉛直方向の盛り上がりを抑制するため，圧入管周辺の隆起抑制板による上載圧を 0.45kN/m^2 から 1.89kN/m^2 に変更した．
- ②圧入口周辺(直径 $50\text{cm}, 40\text{cm}$)の範囲に，水供給装置と攪拌棒を設置する．圧入口周辺の地盤を水平方向に加水攪乱し，強度低下させる．この目的は水平方向へ圧入を促進させるためである．水の注入量は，攪拌範囲が圧入側粘土強度と同程度になるように，予め算出しておく．攪拌は，圧入開始後も一定のタイミングで行う．
- ③覆砂層の単位体積重量は，水中単位体積重量と気中単位体積重量の間の数値を取り， 13kN/m^3 として小

表-1 昨年度実験結果

Case	1	2	3	4	5	6
圧入量 (cm^3)	1,292	3,041	6,158	4,410	6,482	5,778
変化量 (cm)	2.55	4.29	5.62	5.20	4.99	4.38
影響面積 (cm^2)	475	800	1,213	1,075	1,638	1,225

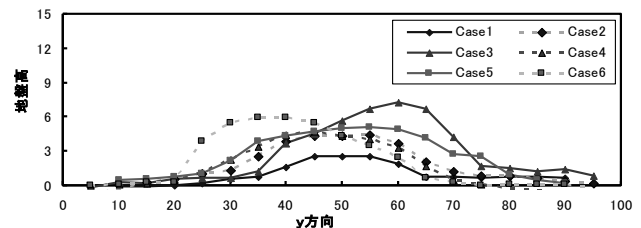


図-2 圧入後の地盤高の変化

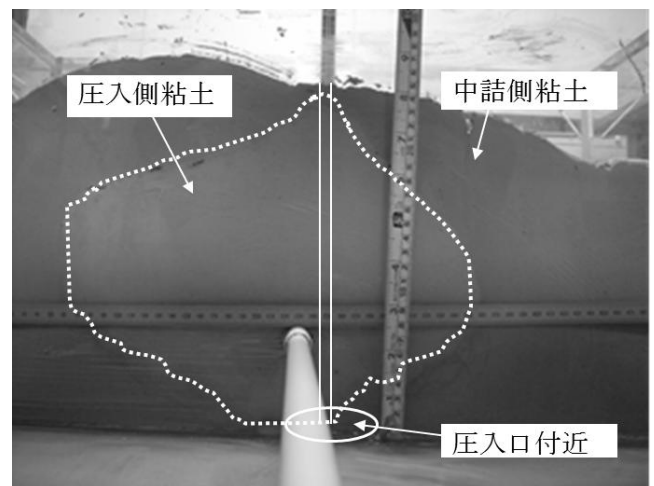


写真-1 圧入後の断面状況

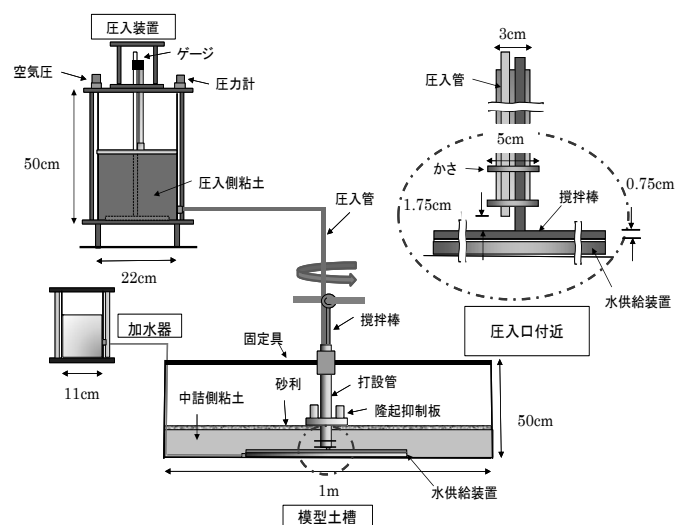


図-3 改良実験概要図

粒で均等な砂利を表層 1m²あたり 26.5kg 敷き詰め、上載圧を 0.16kN/m²(水中単位体積重量)から 0.26kN/m²に変更した。

これらの改良を行った上で、層厚 15cm の計 2 ケースで、実験データ Case3 にできるだけ近づけた実験条件で圧入実験を行う。表-2 に各実験ケースの実験条件を示す。圧入速度については、上述の実験と比較しやすいよう同程度に設定するために載荷圧力を調整した。

(2) 各改良ケースにおける実験結果と考察

今回の圧入実験による地盤高の変化を図-4 に示す。上述のデータ Case3 と比較して、圧入口を中心として左右ほぼ対称的に地盤高の変化がみられた。また、実験の Case7 と Case8 における圧入量が同量(6082cm³)時の地盤高変化を比較すると、Case8 の実験では Case7 より中心付近での盛り上がり高さが抑えられた分、圧入影響面積が増加したことから攪拌範囲の拡大による効果であると考えられる。表-3 の結果と合わせて、水供給装置と攪拌棒による圧入口周辺水平方向の攪乱、隆起抑制板によって左右均等かつ、広い範囲に圧入を行うことができる可能性が示された。

図-5 は今回の行った実験 Case7,8 と Case3 における一定圧入量ごとの経時影響面積変化を示したものである。丸印は各実験ケースにおける最終圧入量と最終影響面積の関係をプロットしたものである。Case7 については限界に達する前に圧入を終了させたので点線で示している。直線は圧入形状が円柱であると仮定して算出したときの地盤の盛り上がり高さが 4.5cm における圧入量と影響面積の関係である。Case3 の結果より、この直線から右側、すなわち、盛り上がり高さ 4.5cm 以上のところに限界が存在する。Case7 については Case3 との比較のため、限界に達する前で圧入を終了したが、地盤高変化 4.5cm を超えた丸印周辺に限界圧入量が存在すると考えられる。この全体図より、圧入初期における圧入量でいかに影響面積を広げることができるかが重要である。

(3) 圧入後の断面状況

写真-2 は Case8 圧入後に圧入管から 5cm の位置の中詰め粘土層を昨年度と同様の方法でアクリル板によって切断し、圧入形状断面を左側半分示したものである。写真のように圧入粘土は写真右端の圧入管を中心としてほぼ左右対称に水供給装置の範囲に沿って広がっていることを確認した。よって改良を行わなか

表-2 改良実験条件

Case	7	8	3
水流攪拌の有無 (攪拌範囲)	有 (40cm)	有 (50cm)	無
隆起抑制板 (kN/m ²)	1.89	1.89	0.45
せん断強度(kPa) (正規化含水比) W _L =62.56%	圧入側 0.05 (1.5W _L)	0.045 (1.64W _L)	0.08 (1.48W _L)
	中詰め 0.62	0.61	0.61
	側 (1.13W _L)	(1.15W _L)	(1.22W _L)
圧入速度 (cm ³ /sec)	6.92	4.61	6.87

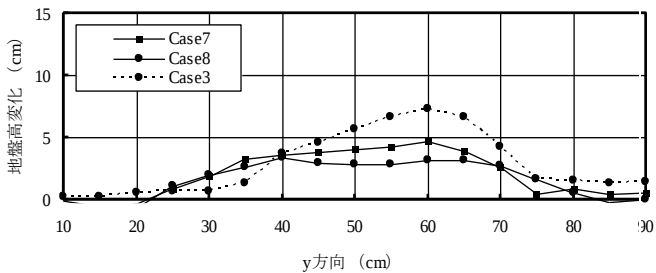


図-4 圧入後の地盤高の変化

表-3 改良実験結果

Case	7	8	3
攪拌範囲	40cm	50cm	無
最終圧入量 (cm ³)	6,082	14,445	6,158
盛り上がり高さ (cm)	4.0	5.5	5.6
最終影響面積 (cm ²)	1,475	2,380	1,213

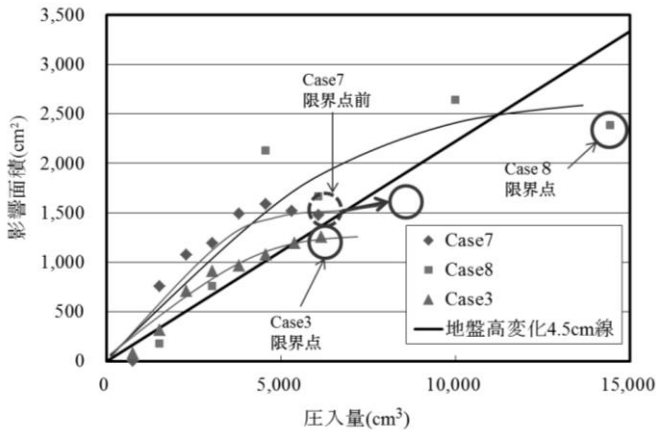


図-5 影響面積と圧入量の関係

った場合と比較して、形状が側方へ広がっていることから、改良による効果はあらわれていると考えられる。

4. 実際の干潟スケールでの適用可能性

本工法を実スケールでの施工した場合の適用性について検討する。表-4はCase3とCase8を例にとって、実験結果を相似則により実スケールに換算した結果を示している。

圧入側粘土は、海底地盤に堆積している土はおよそ液性限界の0.9~1.1倍の範囲で堆積していると考えられるので、実験条件は同程度の値になっている。

ここで1haの広さの人工干潟での施工を考える。改良による実スケールに換算した結果をみると、圧入量225m³、影響範囲（直径）14m、中心での盛り上がり高さ1.37mとなる。よって圧入管を12.5m間隔で設置し、合計箇所で圧入を行えば、全面を平均的に約60cm程度嵩上げすることができ、1回の圧入で約225m³程度であるので、約11,000m³処分できる。

これは改良をしない場合と比較して、より少ない圧入管で多くの浚渫土を受け入れることが可能と考えられる。以上のように、本実験の結果が実スケールで適用できると仮定すれば、浚渫土を有効活用する上で、実現可能性のある工法であると考えられる。改良による実スケールへの換算結果から、施工前に水流ジェットなどにより、圧入口付近において強度低下させた高含水比層を形成させるなどの工夫をあらかじめ行えば、より少ない圧入管で広範囲に均等に圧入できると考えられる。しかし、今回は粘土の粘着力を1/25としたことで、密度が実スケールよりも小さくなっており、さらには応力ひずみ関係も異なっている。したがって今回用いた相似則の妥当性については、さらに検討する必要がある。また、今回の実験では縮尺を粘土の強度、模型寸法を合わせており、実際の施工速度を参考にしたわけではないので今後圧入速度についてはさらに検討した上で、潮汐の影響を受ける干潟などの浅海域においてどのように圧入管を設置し、圧入を行うか、施工上の工夫が必要である。

5. 結論

- 1)1/25スケールの改良圧入実験の結果、最大で約14,000cm³の圧入量があり、改善の効果が見られた。
- 2)水供給装置と攪拌棒による圧入口周辺水平方向の攪乱、隆起抑制板によって左右均等かつ、広範囲に圧入を行うことができる可能性が示された。しかし、各装置が圧入の影響面積に与える効果を今後詳細に追及していく必要がある。
- 3)今後もう少し規模の大きな実験装置を用意して模型実験を行い、改良点などの効果について適用性を検討していくことが必要である。

6. 参考文献

- 1)川崎大輔,土田孝,松井章弘,土木学会中国支部(2010), 浚渫粘土圧入方式による人工干潟造成に関する研究

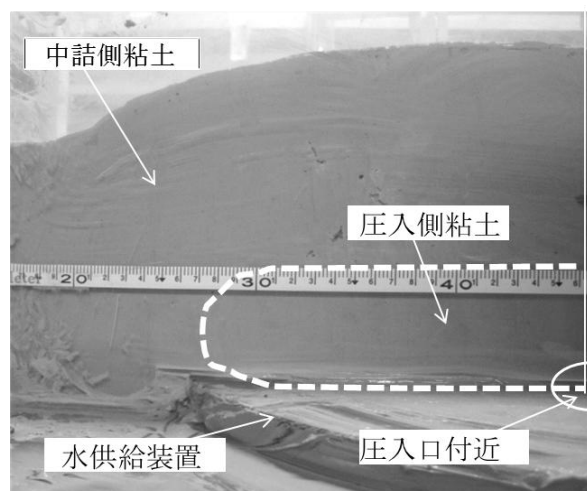


写真-2 圧入後の断面状況

表-4 Case3とCase8における実スケール換算結果

実験ケース		Case3	Case8
層厚		3.75m	3.75m
せん断 強度	圧入側	2.0kPa	1.13kPa
	原地盤側	13.8kPa	15.25kPa
圧入量		96m ³	225m ³
中心盛り上がり高さ		1.4m	1.37m
影響面積		76m ²	149m ²
影響範囲		10m	14m
圧入速度		3.1m ³ /h	2.1m ³ /h