

大水深埋立工法について

大阪市立大学工学部 正員 三笠 正人

1. はじめに

これまでの埋立工事はほとんど水深10m以内の浅海で行なわれてきたが、大阪湾で計画されている関西新空港や、廃棄物処理のためのフェニックス計画を含め、今後の埋立は水深15～20m、あるいはそれ以上の大水深の海域へと進んでいくことは必定である。その際これまでの埋立工法をそのまま踏襲し、単に量的に拡大するだけでは工費、残留沈下の両面で問題があるように思われる。ここでは関西新空港を例として大水深埋立の最適工法を模索したひとつの結論として、浚渫粘土を主たる用土とし、遮水護岸を用いる工法を提案する。

2. 関西新空港の地盤条件と運輸省案のあらまし

図-1は埋立予定地の代表的な地盤状況である。簡単のために水深20m、沖積層厚20mでその下に洪積層の砂、粘土の互層が数100m続くという地盤を想定する。運輸省案は100年後に埋立地の表面がO.P.+4mの標高を確保できるように、想定沈下量12m（沖積、洪積層各6m）を含めて約36mの厚さ山土（図-2）を埋立てるもので、護岸は最も普通の捨石マウンド上にケーソン（改良案では消波ケーソン；図-3）を置くタイプを採用している。海底の沖積層は相対含水比（液性指数）÷1の超鋭敏粘土で、これに対し全面にφ40cmのサンドドレーンを2.5mピッチに打ち、空港完成時にはほぼ沈下を終らせるようにしている。護岸の基礎部は締固め砂杭と深層混合処理工法を用いるが、最近は基礎処理を施さない、あるいはサンドドレーンを用いた緩傾斜堤も一部にとり入れたかなり経済的な案も考えられているようである。なお、洪積層の沈下6mのうち4mが開港後の残留沈下として見こまれている。

3. 問題点の考察

まず沖積粘土の改良に大阪南港で試みて成功したサンドドレーンと水位低下を併用する圧密改良工法を適用することが考えられる。この工法は沖積層の圧密に海水の重量と大気圧を利用しようというものだから、大水深の埋立ほどいっそう有効なのである。もっとも

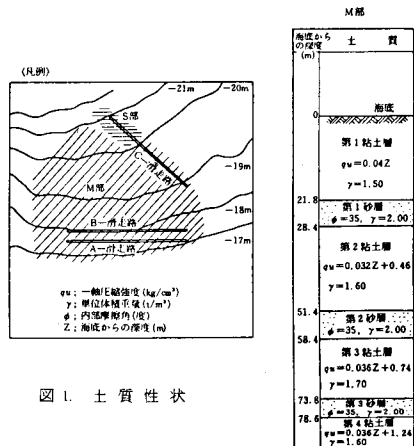


図1 土質性状

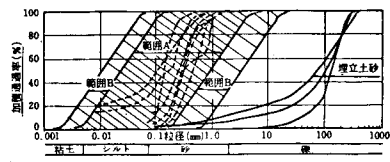


図2 予想される埋立土砂の粒径加積曲線

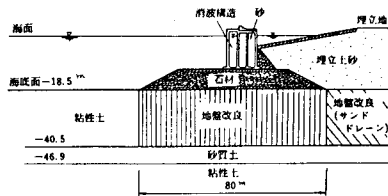


図3 直立消波ケーソン式低マウンド護岸

原案通り山土で埋立てるのであれば、敷砂のシールのため数mの粘土層か人工の不透水膜を布設する必要があるが、それほど技術的困難があるとは思えない。この工法を適用すればバーチカルドレーンの本数は半分以下ですみ、井戸の費用を入れても地盤改良費は半分程度に節約でき、しかも沖積層を過圧密状態にして残留沈下をゼロとすることが可能である。

次に護岸の基礎処理についても上と同様の水位低下とバーチカルドレーンの併用工法が考えられ、粘土を圧密強化して護岸の安定を確保するというオーソドックスな行き方として、原案のような未知の要因を含む複合地盤よりもむしろ安心でき、工費も廉くなると思われるが、ここでは基礎・本体を一体とした新しい遮水護岸方式⁵⁾をとり上げ、埋立地の水位をコントロールできるように工夫する。すなわち図-4のように鋼板セルを沖積粘土層中に押込み、付近の海底粘土を投入してから基礎部と一体になるように深層混合処理を施すのである。各セルは連結弧で接合し、前後の地盤も処理して一連の遮水護岸が完成する（施工手順についてはいろいろなものが考えられる）。

次に埋立土砂として硬岩を砕いた平均粒径10cmという大径の礫質土を用いることについて考えてみよう（図-2）。このような材料は液状化の危険こそないが、20mの水中投棄により材料の分離を来したり、不均一な密度で堆積したりするおそれがあり、また基礎工事や地盤調査の困難も予想されるので、必ずしも良質の埋立材料とは言えないのである。

岩片を以て埋立てることの問題点のひとつは、単位体積重量の大きいことである。従来例から $\gamma = 1.1 \text{ tf/m}^3$ ($e=0.52$) と仮定すると、厚さ36mの埋立土荷重は浮力を引いて 46 tf/m^3 にも達し、洪積層粘土を相当の深度（おそらく300m以上）まで正規圧密の領域に引き入れてしまうであろう。洪積層の圧密に関して未だ解明されない点——たとえば圧密降伏応力の大きさ——が残されている現状においては、大水深埋立法はこの洪積層の沈下を極力少くするために、埋立土重量を減らすことがひとつのポイントとして当然追求されるべきであろう。

4. 粘土による埋立案

巨大な埋立土荷重による大きな地盤沈下を避ける方策として、関西新空港に対してこれまで干拓案、栈橋案および浮体案が考えられ、結局埋立と比べて工費と空港機能の点で劣るとしてしりぞけられた。ところで土質工学の立場から見れば、これらよりも遥かに現実的な案として

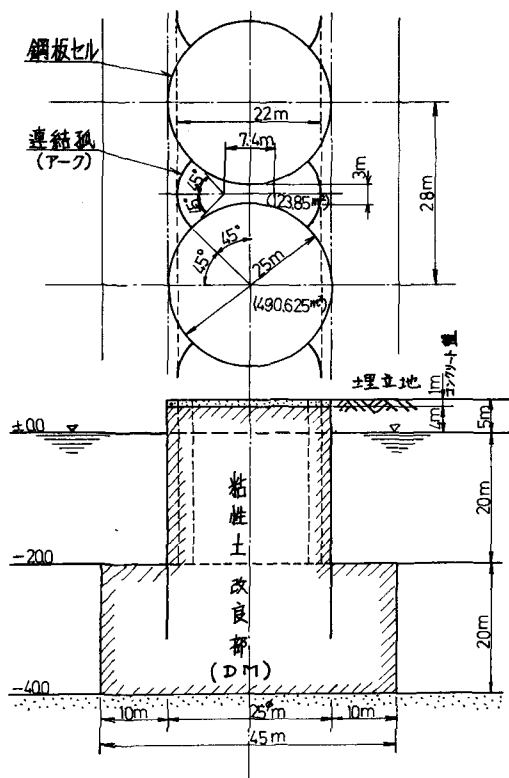


図-4 遮水護岸（鋼板セル+DM）

粘土で埋立てる工法を検討対象から外すわけにはいかない。粘土は圧密すれば十分強くなり、しかも山土よりもずっと軽いのである。もっとも従来のように埋立てた後で表面から何とかしてバーチカルドレーンを打つというようなやり方では時間がかかって仕方がないし、また従来の余水吐方式では排水による海水の汚濁も問題になる。しかしこれらの難点は次の方法で解決できるものと思われる。

図-5は筆者が提案する新しい埋立工法の概念図である。護岸は遮水護岸とし、全面に敷砂1.5mと排水管網を布設し、バーチカルドレーンを沖積層にたとえば $\phi 40\text{ cm}$ を5m間隔に打ち、水中、真空の両ポンプを具えた井戸を250m間隔に配置する。埋立粘土の厚さが3mになればポンプを動かして海水重量と大気圧を主体に約 30 tf/m^2 で圧密を始める。圧密荷重は埋立の進行につれて増大し、最後には 57 tf/m^2 になる。初期の有効応力を平均的に 5.7 tf/m^2 と見ると、圧密によって有効応力が10倍に増えるから沈下の圧密度を85%とすれば対応する応力の圧密度は67%となり、有効応力は平均 40 tf/m^2 となって完成時の浮力を考えた埋立土荷重 23 tf/m^2 に対し十分な過圧密状態となる。

埋立粘土は埋立てながら層ごとに適当な

間隔で人工材料の水平ドレーン（通水路つき）を布設し、井戸から分岐させた排水管につないで真空圧密をさせる。完工時の粘土の状態としては平均的に $f = 2.6$ 、 $\gamma' = 0.64\text{ tf/m}^2$ が想定され、このとき20mの厚さになる分量だけ粘土を入れ、ある程度圧密したら良質の山土か海底砂礫を8m上置きして仕上げる。山土の水位は圧密中は底面まで、完工後は-5mまで下げ、埋立地の標高は完成時にO.P.+2m、100年度にO.P.+0.5~1mとし、埋立荷重を減らす（干拓案の沈下ゼロの長所を少し生かす）。

粘土の吹揚げに伴う排水は図-5(c)の溢流護岸の全面から上澄水をオーバーフローさせ

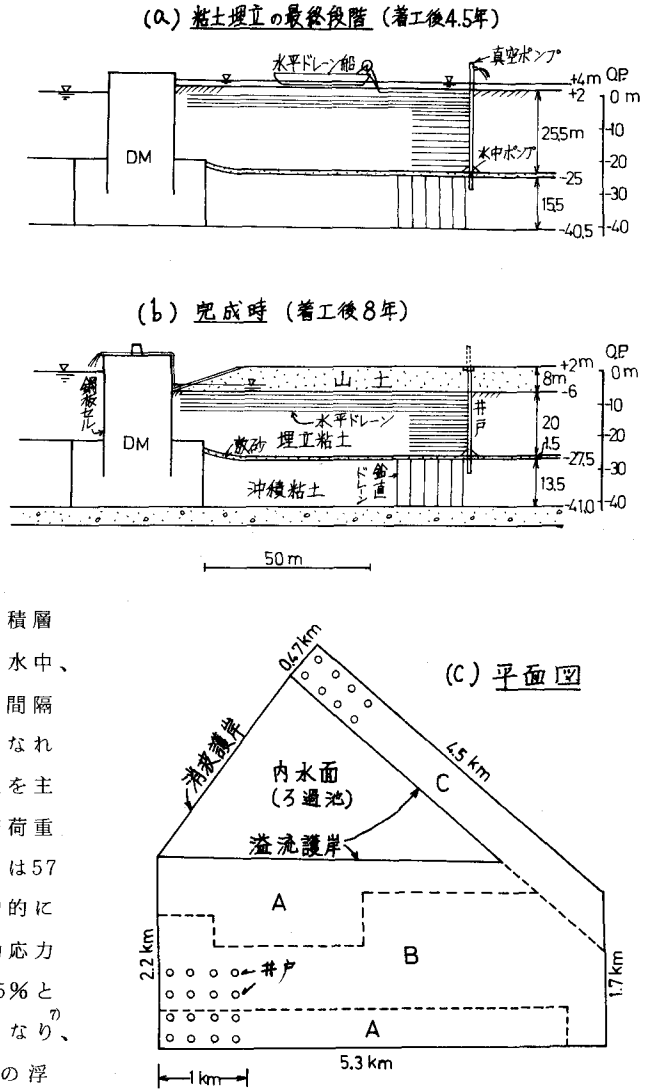


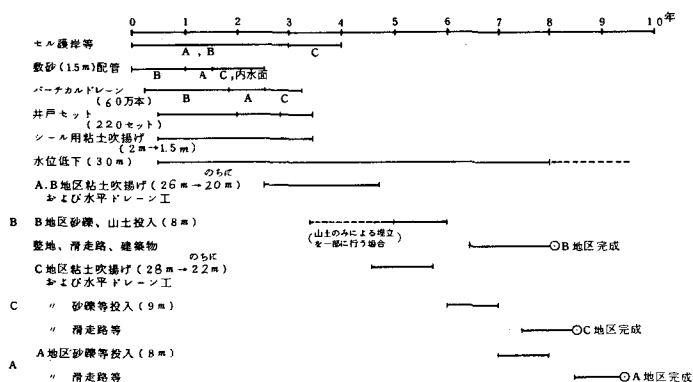
図-5 新しい埋立工法 (浸漬粘土で埋立てる
遮水護岸を用いる
水位低下により圧密する)

(要すればフィルタークロスを通して)、さらに内水面を沈殿池、あるいはろ過池として利用することでほぼ満足な結果が得られよう。

全体の工程はたとえば表-1のように組むことができ、山土で埋立てる案と比べて特に長い工期を必要としない。

工費は沖積粘土の改良費と埋立土の費用(水平ドレーン、水処理も含めて)について大巾な建設費の低減が見込まれる。また浮力を考えた埋立土重量も半分に減るので、開港後に残留する洪積層の沈下がおそらく1~1.5mと $\frac{1}{3}$ 以下に減少すると期待される。開港後に不同沈下が生じたときには、井戸の水位を調節して修正することも可能であろう。

表1 新しい埋立法による工程表



この工法の実現のためには当然いくつかの技術開発を必要とするが、いずれも原理的な困難はないようで、大水深埋立法として十分実現可能であると考ええる。

以上土質工学の立場からひとつの新しい埋立法を提案したが浚渫粘土で埋立てる場合、本文の処理を施してもなお多少の海水の汚濁は免れず、多分環境保護の立場から容認されないだろうとの意見がある。この点については他の処理方法も含めて慎重に検討し、全体としての最適工法を追求していくべきは当然である。

関西新空港に限らず、今後の埋立全般の方向に関する問題として、社会的費用を最小に保ちながら国土を開発していく方策を真剣に検討すべきであるとの立場から、あえて粘土による埋立法の一試案を提供した。各位の御検討、御批判をお願いしたい。

参考文献

- 1) 神田勝己: 関西新空港について、基礎工 vol. 9, Ⅱ1 (1981)
- 2) 大西、提: 土地造成における原地盤改良工法、土と基礎 vol. 11, Ⅱ8 (1963)
- 3) 三笠、高間、岩崎、西垣: 大阪南港における深井戸工法について、第15回土質工学シンポジウム(1970)
- 4) 三笠正人: 軟弱粘土の圧密、鹿島研究所出版会(1963)
- 5) 神戸製鋼所関西新空港委員会: 鋼板セル護岸施工計画書(案)(1979)
- 6) 三笠正人: 埋立地盤の土質工学的諸問題、土木学会誌 vol. 63-4 (1978)
- 7) 三笠、網干: 土質工学ハンドブック 第6章 圧縮と圧密