

広島湾における中間土

Intermediate Soils in the Bay of Hiroshima

中ノ堂裕文 Hirofumi NAKANODOU (復建調査設計(株))
 向井 雅司 Masashi MUKAI (復建調査設計(株))
 板谷 吉章 Yoshiaki ITADANI (復建調査設計(株))
 木村 康隆 Yasutaka KIMURA (復建調査設計(株))

地盤を対象にした設計・解析を行っていく上で、砂分を多く含有した粘性土、いわゆる中間土の取り扱いが問題となる場合がある。従来、このような中間土については砂あるいは粘性土と見做し、比較的安全側の設計を行う事が多かった。しかし、土木工事におけるコスト削減が求められてきている最近の世情より、中間土の特性を考慮した設計が必要とされてきている。そこで、広島湾岸域を対象として、これまで不明確であった中間土の分布およびその特性について整理し、考察を行った。

キーワード：広島湾，中間土，分布，土質特性 (IGC: D01, D03, D05)

1. はじめに

地盤を対象にした設計・解析を行う場合、一般には、地盤を砂あるいは粘性土にモデル化して検討を行う。これは、砂・粘性土については、これまでの研究、調査の実績等により、その解析手法および設計手法がある程度確立されており、解析・設計・施工を行う際、地盤を砂か粘性土に区分する方法が便利なが多いためである。

ただし、現場では砂分を多く含有した粘性土(以降、“中間土”と称す)の取り扱いが問題となる場合がある。従来、中間土については解析・設計手法として確立したものは無かったことから、安全側の設計を考慮し、例えば、軟弱な粘土地盤の安定・沈下検討時には中間土を粘性土と見做す事等で対応してきた。

しかし、最近の世情から、土木工事を行うに当たってコスト削減が求められており、中間土層の存在を無視できない場合も考えられ、その特性を考慮した設計が必要とされてきている。

中間土の分布については、北海道、関東、九州(南部)・沖縄地方で厚く存在していることが知られているものの、瀬戸内海沿岸、特に広島湾沿岸域では平面的、断面的にどのように分布しているか不明確であった。そこで、我々は、既往の土質調査結果から、特に広島湾における中間土の分布および土質特性について整理した。なお、土質調査データは、社団法人土質工学会中国支部より“広島湾地盤検討調査”においてとりまとめられたデータ¹⁾を使用した。

2. 中間土について

中間土は、砂と粘性土が混在したもので、その判別の目安としては表-1のようになる。

中間土の特性は、一般的にサンプリングに伴う強度低下が顕著で、一軸圧縮試験結果から算定されたせん断強度では、過小評価することが多い。また、圧密特性については、圧密係数 c_v が大きいことが知られており設定には注意を要する。一方、圧縮指数 C_c は一般に標準圧密

試験結果をそのまま使用することが可能とされている。

表-1 中間土の目安²⁾

	砂	粘土	中間土
砂分含有率 (%)	80 以上	50 以下	50~80
塑性指数 I_p	NP	25 以上	NP~25
透水係数 k (cm/s)	10^{-4} 以上	10^{-7} 以下	$10^{-7} \sim 10^{-4}$
圧密係数 c_v (cm ² /min)	10^1 以上	10^{-1} 以下	$10^{-1} \sim 10^1$

3. 広島湾の地盤概要³⁾

広島湾は瀬戸内海の西部に位置し、その面積は 950km² で平均水深は 25.6m である。

広島湾および周辺陸域の地質構成は基盤岩と被覆層に大別され、基盤岩は古生代~新第三紀の固結した岩盤からなる。一方、被覆層は半固結~未固結の第四紀層である。

被覆層を構成する第四紀層は、陸域の分布は河谷沿いに限られるが、海域には広く発達している。陸域の第四紀層は、中部更新統、崖錐・段丘、沖積層に区分される。中部更新統は、砂・シルト・礫等からなる河成堆積物であり、東部に小分布する。崖錐・段丘堆積物は、礫・砂からなり、崖錐地形や段丘地形を形成する。沖積層は沖積低地の構成層であり、太田川・小瀬川・錦川の河口デルタに広い分布がみられ、下位に洪積層が存在することもある。

また、海域の第四紀層は、岩礁部を除く全海域を覆っており、沖積層と洪積層に区分される。

4. 広島湾の中間土分布

4.1 平面分布

図-1に、広島湾における中間土の分布平面図を示す。同図では、調査地点における標準貫入試験採取試料、および各種サンプリングによる不攪乱試料において、中間土の範囲内のもの（表-1による、ここでは砂分含有率または塑性指数が中間土の範囲内であるものとした）が1試料以上確認された地点は“○”、1試料も確認されなかった地点は“×”を表記している。

同図より、中間土は、特に河口部付近において多数の地点で確認された。ただし、全体的には中間土の平面的な分布傾向は見受けられず、全域に分布していると考え

られる。

なお、当報告では、比較的データが揃っている太田川河口部付近に着目し、東西に分割（図-1内、区域A、B）して土質試験結果を整理した。この結果については5章に記載する。

4.2 深度分布

図-2は、各成層断面図に中間土が確認された深度をプロットしたものである。これより、上部砂層、沖積粘土層、下部砂層の境界付近に多く分布し、下部砂層内においても、細粒分が多く中間土に相当するものが確認されている。また、深度方向に連続的に出現する場合もあるが、層厚は最大1~2m程度であると考えられる。

中間土確認地点比率

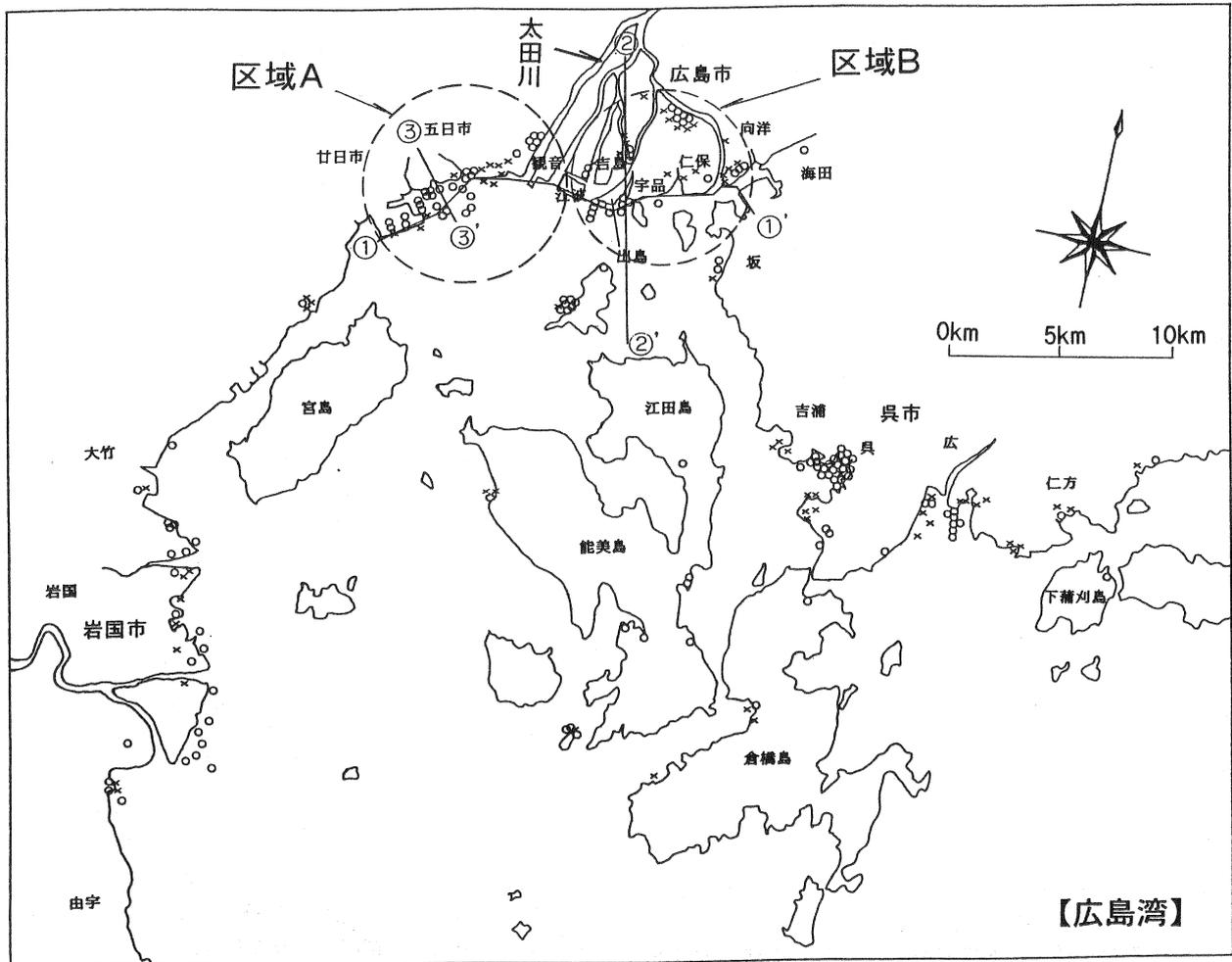
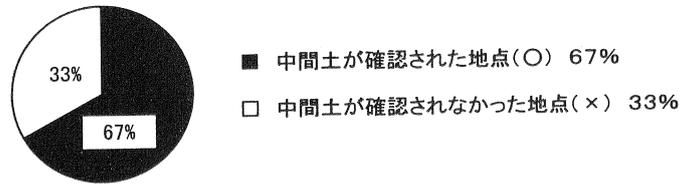
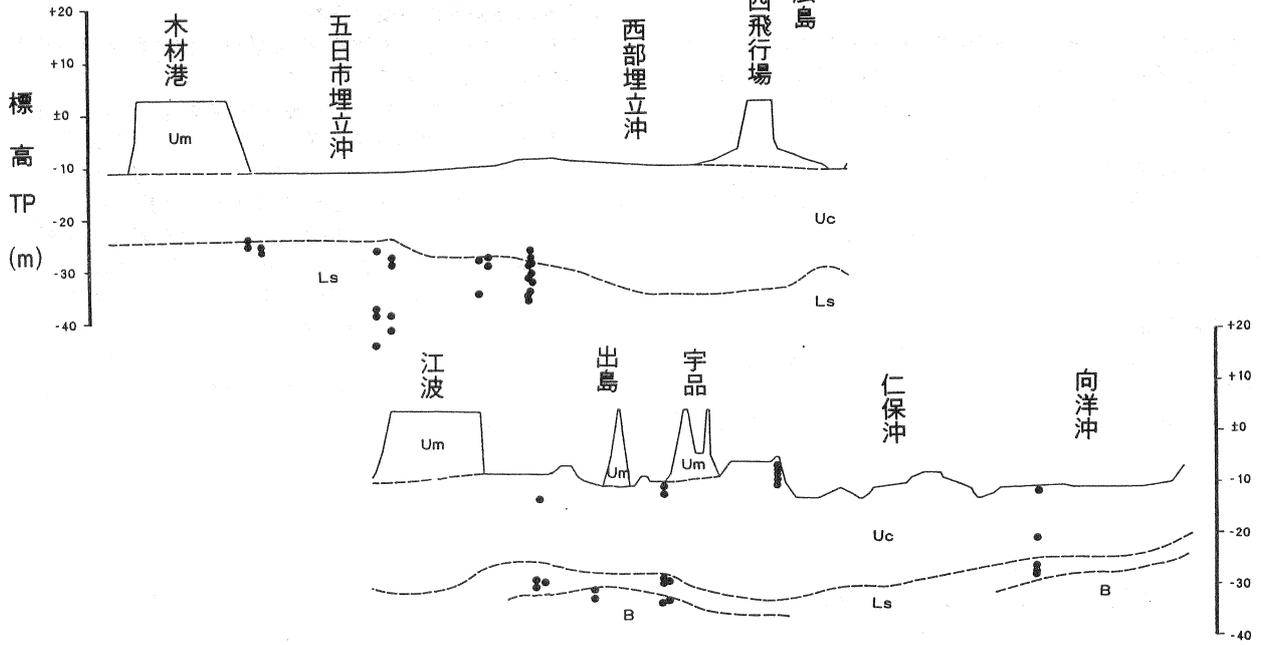


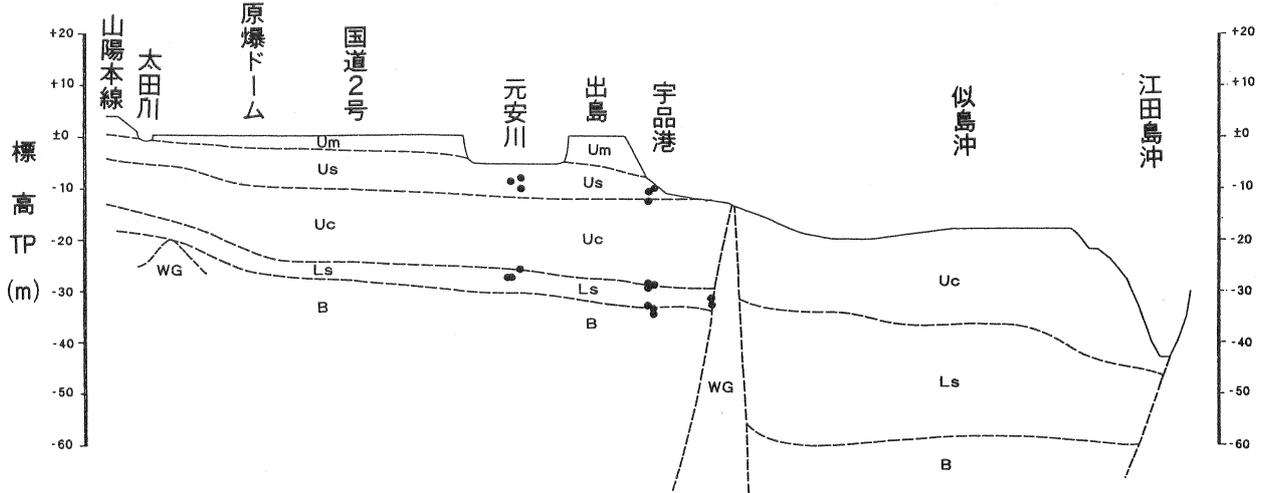
図-1 広島湾における中間土の分布平面図

広島湾における中間土

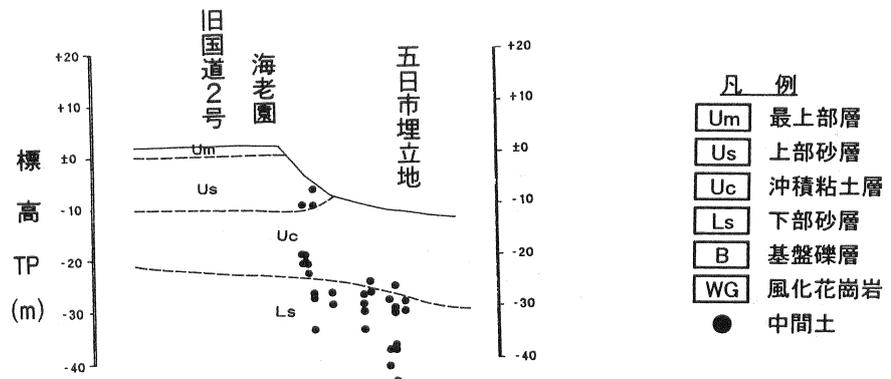
(①-①' 断面)



(②-②' 断面)



(③-③' 断面)



- 凡例
- Um 最上部層
 - Us 上部砂層
 - Uc 沖積粘土層
 - Ls 下部砂層
 - B 基盤礫層
 - WG 風化花崗岩
 - 中間土

0km 1km 2km
水平方向スケール

図-2 深度分布図

5. 広島湾の地盤の土質特性

広島湾内の上部砂層～沖積粘土層～下部砂層において、各層の変遷領域である中間土の土質特性の傾向を探ることを目的として、土質特性の整理を行った。

なお、ここでは、特に沖積粘土層および中間土層付近における土質試験結果が比較的揃っている、区域A、B（図-1参照）に着目した。（ここで示す土質試験結果は、中間土層付近で物理及び力学試験を実施している地点のみの結果をプロットしたものである。）

5.1 深度分布

図-3、4に区域A、Bの各室内土質試験結果深度分布図を示す。同図によれば、砂含有率が50～80%となる中間土層において、 I_p および C_c の値は、沖積粘土層

の値より下降する傾向にあるものの、その程度は場所により異なる傾向が見受けられる。

また、中間土層における c_v の値は、沖積粘土層の値より概ね1オーダー大きくなっている。

一方、中間土層における一軸圧縮強度 q_u の値は、特に沖積粘土層～下部砂層の境界付近でバラツキが大きくなり、低めの q_u が目立つ。これは、図中の土被り圧による q_u ラインと比較し、中間土層では低めの試験結果 q_u が得られていることから、試料が受けていた拘束圧力の解放と、機械的な攪乱の影響によるものと考えられる。

また、 q_u については、中間土層においても土被り圧による q_u ライン程度の強度を有している可能性が考えられる。従って、中間土層の強度の評価については、一軸圧縮試験のみではなく、三軸圧縮試験を併用する等の対応が望ましい。⁴⁾

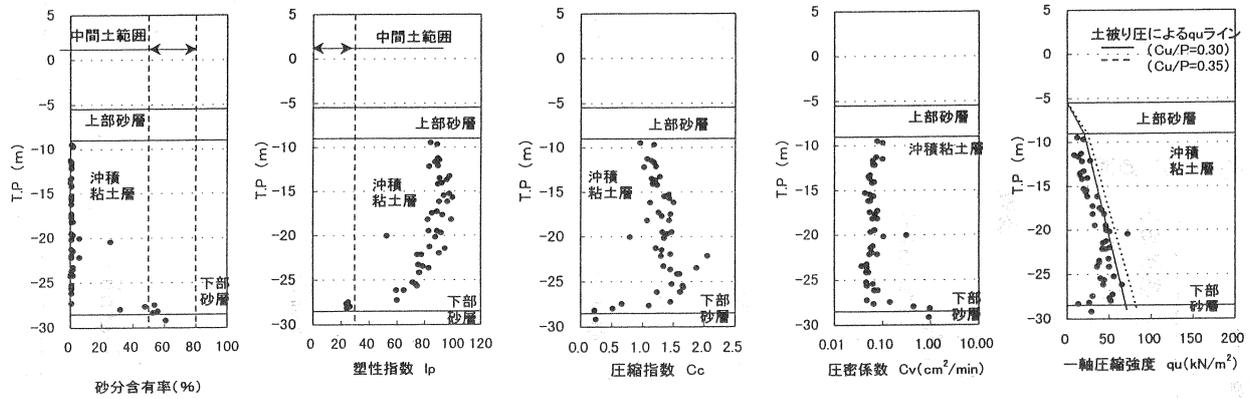


図-3 区域Aの各室内土質試験結果深度分布図

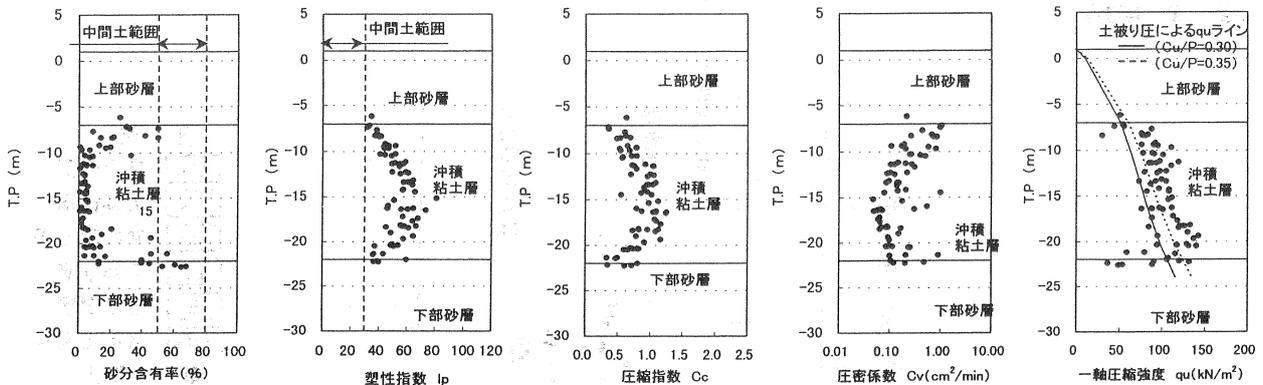


図-4 区域Bの各室内土質試験結果深度分布図

5.2 粒度分布

図-5に中間土層付近における粒度加積曲線を示す。同図においては、 D_{20} は0.002~0.04mm程度であり、Creagerによる D_{20} と透水係数 k の関係⁵⁾によると、透水係数 k は、表-1に示す中間土の目安の範囲内である 10^{-4} ~ 10^{-6} cm/s程度と推定される。

5.3 物理特性と圧縮指数 C_c の相関

図-6に物理特性と圧縮指数 C_c の相関図を示す。同図より、 C_c と I_p の関係は沖積粘土層から中間土層まで概ね直線となる傾向が見受けられるものの、瀬戸内海のデータより求めた住岡らの近似線⁶⁾、および全国の港湾地域での関係を示した小川らの近似線⁷⁾と比較すると、幾分小さ目の C_c を与える傾向にある。

また、 C_c と砂分含有率の関係は、比較的バラツキが大きいものの、砂分含有率の増加に伴って C_c が低下する傾向にある。

5.4 物理特性と圧密係数 c_v の相関

図-7に物理特性と圧密係数 c_v の相関図を、住岡らの近似線⁴⁾と合わせて示す。同図より、 c_v と I_p の関係は沖積粘土から中間土まで多少バラツキがあるものの、ある程度の相関があると見受けられる。

また、 c_v と砂分含有率の関係については、砂分含有率の増加に伴って c_v が増加する傾向が見受けられる。ここで、 c_v は上限値 $1\text{cm}^2/\text{min}$ に多くのプロットが集まるが、一部に $0.1\text{cm}^2/\text{min}$ 程度のもも見受けられる。

なお、中間土範囲付近の C_c 及び c_v のバラツキの原因については、以下の事項が推定される。

- ・中間土層付近において、砂分含有率の異なる層が10cm程度で互層状に堆積しているため、物理試験及び圧密試験に使用した試料の土性が異なっていた。
- ・調査（サンプリング、室内土質試験等）の過程で、試料に乱れが発生した。
- ・調査結果が何れも太田川河口部付近のものであるため、細粒分の性質の違いによるものではない。

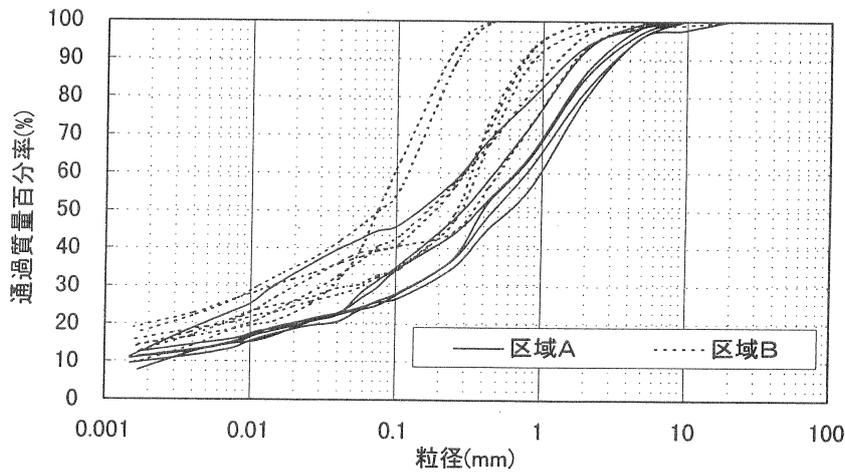


図-5 粒度加積曲線（中間土層付近）

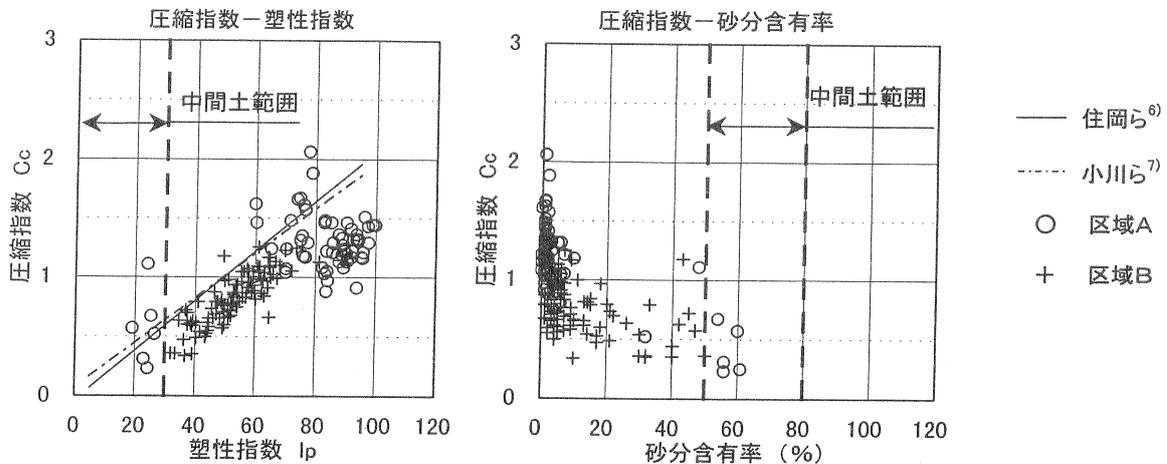


図-6 物理特性と圧縮指数 C_c の相関図

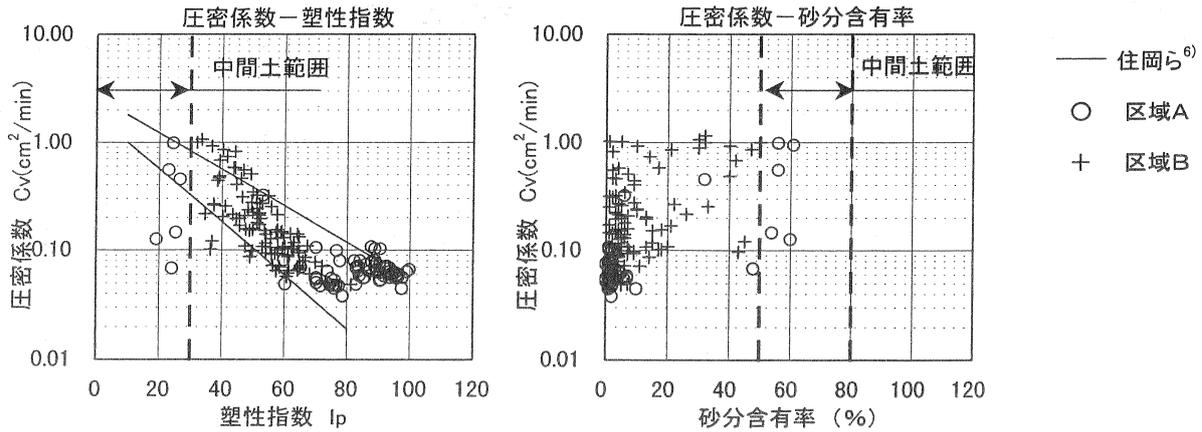


図-7 物理特性と圧密係数 c_v の相関図

6. まとめ

6.1 広島湾の中間土分布

- (1)中間土の平面分布に傾向は見受けられず、全体的に分布している。
- (2)中間土の深度分布については、上部砂層、沖積粘土層、下部砂層の境界付近に多く分布する。また、下部砂層内においても、中間土に相当するものが確認されている。

6.2 広島湾の地盤の土質特性

- (1)深度分布
 - ・ 中間土層において、 I_p および C_c の値は、沖積粘土層の値より下降する傾向にある。
 - ・ 中間土層における c_v の値は、沖積粘土層の値より概ね1オーダー大きくなっている。
 - ・ 中間土層における一軸圧縮強度 q_u の値は、特に沖積粘土層～下部砂層の境界付近でバラツキが大きくなり、低めの q_u が目立つ。これは、試料が受けていた拘束圧力の解放と、機械的な攪乱の影響によるものと考えられる。
 - ・ 中間土層の強度の評価については、一軸圧縮試験のみではなく、三軸圧縮試験を併用する等の対応が望ましい。⁴⁾
- (2)粒度分布 (中間土層付近)
 - ・ D_{20} は 0.002~0.04mm 程度であり、Creager による D_{20} と透水係数 k の関係⁵⁾によると、透水係数 k は、表-1 に示す中間土の目安の範囲内である $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ 程度と推定される。
- (3)物理特性と圧縮指数 C_c の相関
 - ・ C_c と I_p の関係は、沖積粘土から中間土まで概ね直線となる傾向が見受けられる。
 - ・ C_c と砂分含有率の関係は、比較的バラツキが大きいものの、砂分含有率の増加に伴って C_c が低下する傾向にある。
- (4)物理特性と圧密係数 c_v の相関
 - ・ c_v と I_p の関係は、沖積粘土から中間土まで多少バラ

ツキがあるものの、ある程度の相関があると見受けられる。

- ・ c_v と砂分含有率の関係については、砂分含有率の増加に伴って c_v が増加する傾向が見受けられる。ここで、 c_v は上限値 $1 \text{cm}^2/\text{min}$ に多くのプロットが集まるが、一部に $0.1 \text{cm}^2/\text{min}$ 程度のものも見受けられる。

6.3 今後の課題

我々が今回確認した限りでは、中間土の土質特性を示すための試験結果が少なく、今回の報告は広島湾全域の土質特性のまとめには至っていない。今後は、さらに中間土の調査結果の収集に努め、その土質特性について、より詳細にまとめていく必要があると考える。

謝辞：本研究にあたっては、広島地区土質工学セミナーの皆様、並びに広島大学の佐々木康教授、森脇武夫助教授をはじめとする大学関係の方々にも多大なご指導、ご協力をいただきました。皆様に、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人 土質工学会中国支部：広島湾地盤検討調査、pp.4.1.1~4.3.85、1995。
- 2) 社団法人 土質工学会：ジオテクノート② 中間土 砂か粘土か、pp.85~87、1992。
- 3) 社団法人 土質工学会中国支部：広島湾地盤検討調査、pp.2.1.1、3.2.1、1995。
- 4) 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、pp.244~245、1999。
- 5) 土質工学会編：掘削のポイントー第一回改訂版、pp.303、1975。
- 6) 住岡 宣博、朝倉 一雅、松方 健治：砂分含有率と圧密パラメータの相関、第28回土質工学研究発表会、pp.471~472、1993。
- 7) 小川 富美子、松本 一明：港湾地域における土の工学的諸係数の相関性、港湾技術研究所報告 第17巻第3号 (Vol.17, No.3)、pp.3~89、1978。