

堀川の堆積ヘドロにおける地盤調査結果 - その強さと護岸の安定性への影響 -

名古屋工業大学 地盤工学・前田研究室

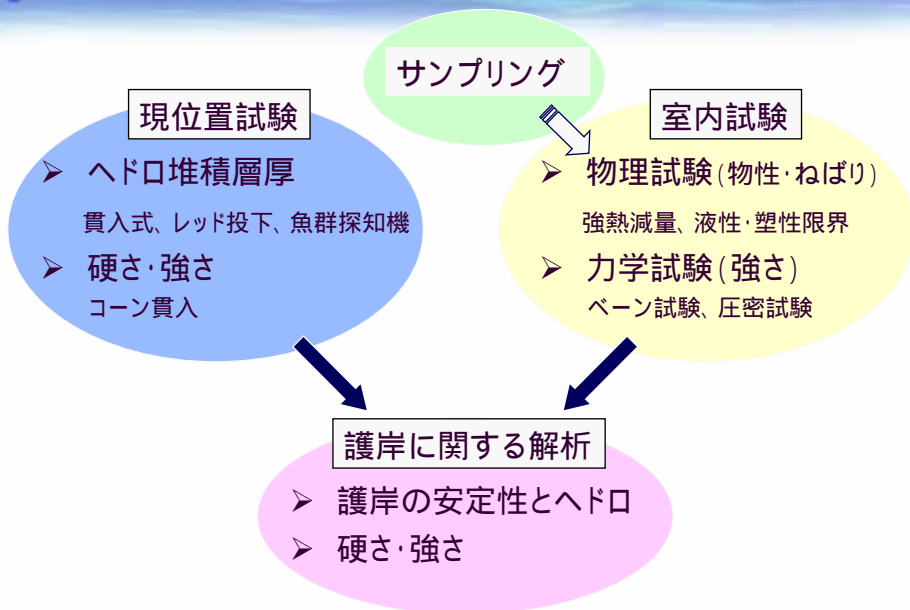
Geo-Science & geo-Technics Lab. in Nagoya Institute of Technology

本研究の目的

- ・ 堆積しているヘドロが護岸を支えているという話があり、ある県では浚渫によって護岸が傾き、周辺の建物に影響をもたらしたということを知った。
- ・ 今後の堀川の浄化においては、ヘドロの浚渫や固結化という選択肢についての検討が必要となると考えられる。
- ・ 本研究の目的は、都市河川の護岸の安定性に及ぼすヘドロの力学特性や浚渫過程の影響について検討することである。

調査内容

堆積ヘドロに関する地盤調査



ヘドロの堆積厚の計測機器

- ヘドロの堆積厚を計測するために、名古屋市堀川総合整備室の担当者より聞いた話を参考に、図のような器具を作成した。これは、自作の非常に簡便な計測器であり、精度の高い測定を行うことができるか懸念された。
- しかし、港湾などの水深測量で使用される「レッド」による計測値や、魚群探知機により計測した水深と一致することが確認された。

接地圧=人の足の裏



レッド



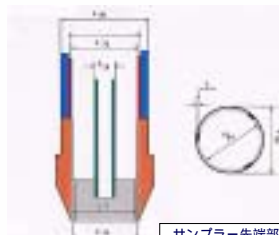
GPS魚群探知機



ヘドロ層厚計測器

サンプラーの開発

- 本研究では、ヘドロの力学的特性を把握するための試験を行うために、ヘドロ試料のサンプリングを行うことが重要な課題であった。大同工業大学の協力を得てヘドロのサンプリングを行うことになり、大東研究室が過去の事例を参考にサンプラーの開発を行った。

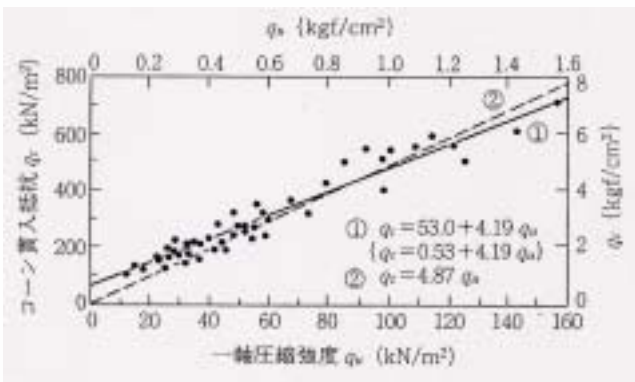


サンプラー先端部



サンプラー本体

コーン貫入試験

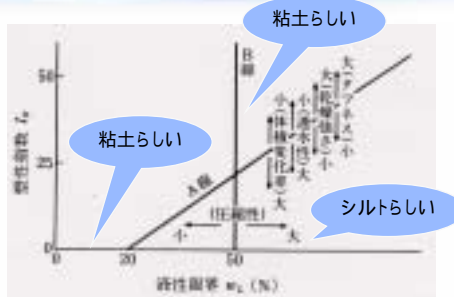
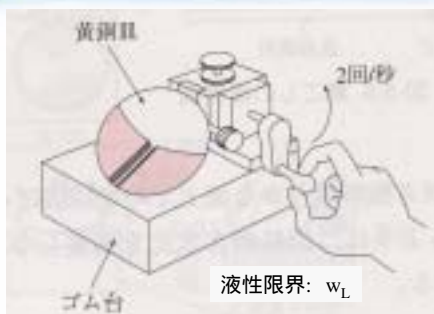


地盤工学ハンドブック(地盤工学会)



塑性限界・液性限界

土のねばっかさ



土質試験の手引き
(地盤工学会)

ベーンせん断試験

- ・ ベーンせん断試験は、粘性土の強度試験として欧米を中心とした海外では一般的に用いられ、軟弱地盤の安定計算に用いるせん断強さはこの試験で用いられることが多い。
- ・ ベーンせん断試験は、ボーリング孔底もしくは地表よりロッドの先に付けたベイン（羽根）を地盤中に挿入し、羽根を回転させたときのトルクを読みとり土のせん断強さを求める。
- ・ 本調査では、サンプリングにより得た試料にベーンを差し込んでせん断試験を行った。



堀川ヘドロ調査隊・出動記録

	調査日時	調査場所	調査内容
第1回	2004年 9月28日	幅下橋～小塩橋 約0.3km	ヘドロ層厚計測 コーン貫入試験 サンプリング
第2回	2004年 11月13日	猿投橋～天王崎橋 約4.8km	ヘドロ層厚計測
		幅下橋～小塩橋	サンプリング
第3回	2004年 12月8日	天王崎橋北	サンプリング
第4回	2004年 12月9日	景雲橋～松重閘門 約2.6km	魚群探知機とレッドによる水深計測
第5回	2005年 1月13日	天王崎橋北	ヘドロ層厚計測 レッドによる水深計測 コーン貫入試験 サンプリング

ミッション1：堀川のヘドロを測る

堀川のヘドロを測るって
どないして測るんや！

秘密兵器：ヘドロ層厚計測器



プロの教え：レッド

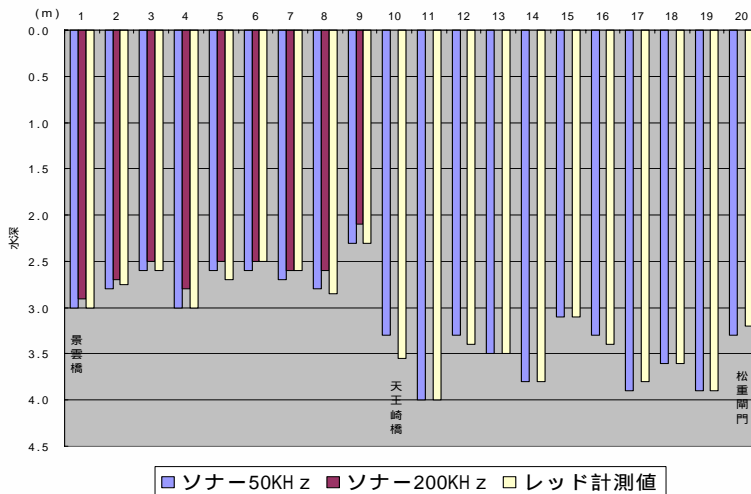


リーサルウェポン：魚群探知機



ヘドロの堆積厚の計測

- ・ 魚群探知機（ソナー）とレッドの読みがおおむね一致した。
ソナーにより堆積ヘドロの上面の位置が計測できる。



ヘドロの堆積厚の計測

- ・ レッドによる堆積ヘドロの読みと、ヘドロ層厚計測器による計測値とに差異がある。

この差は、上層の浮遊ヘドロもしくは河床の土砂を表している？

ヘドロ層厚計測器による計測は、人力により刺さる位置まで。

地点No.	レッド計測値	ヘドロ層厚計測	差分
No.8	0.35	0.650	0.300
No.9	0.30	1.000	0.700
No.11	0.25	0.625	0.375
No.12	0.60	0.675	0.075
No.14	0.50	0.800	0.300
No.16	0.20	0.575	0.375



- ・ 報告事例によると、浮遊ヘドロ底面で 1 kN/m^2 、
定着ヘドロ底面で 17 kN/m^2 とのことである。
- ・ レッド底面の貫入抵抗値は、 10.69 kN/m^2



ヘドロを測ることはできたのか？

- ・ レッドと魚群探知機の値は一致した！
- ・ 魚群探知機で堆積ヘドロ上面の水深が分かる！
- ・ しかし、水深は分かっても水位は刻々と変化する。（絶対高さが分からない！）
- ・ ヘドロ層厚計測器によるヘドロの層厚とレッドの値が違う！（違いは何を表すか？）
- ・ ヘドロ層厚計測器が示す値は、

本当にヘドロか？

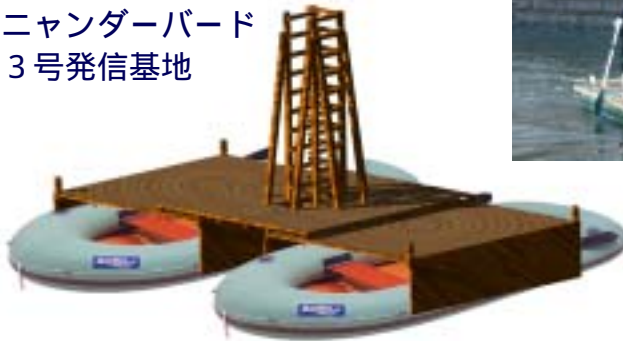
ミッション2：堀川のヘドロを採る

**堀川のヘドロを採るって
どないして採るねん！**

筏(いかだ)の制作

- ヘドロのサンプリングを行うにおいては、足場をいかに固定するかが課題であった。そこで、より安全に安定したヘドロのサンプリングを行うために、筏(いかだ)を製作した。

ニャンダーバード
3号発信基地



SPEED坂井

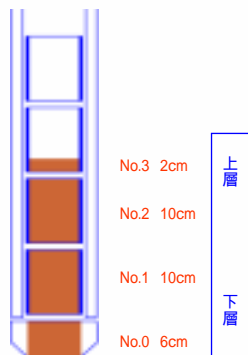


桜井先輩

私

ヘドロの採取：4本採れました！

- ヘドロのサンプリングに関する知識や経験がなく、手探りの状態で試行錯誤を繰り返しながら、3回の調査で計4本の試料を得ることができた。

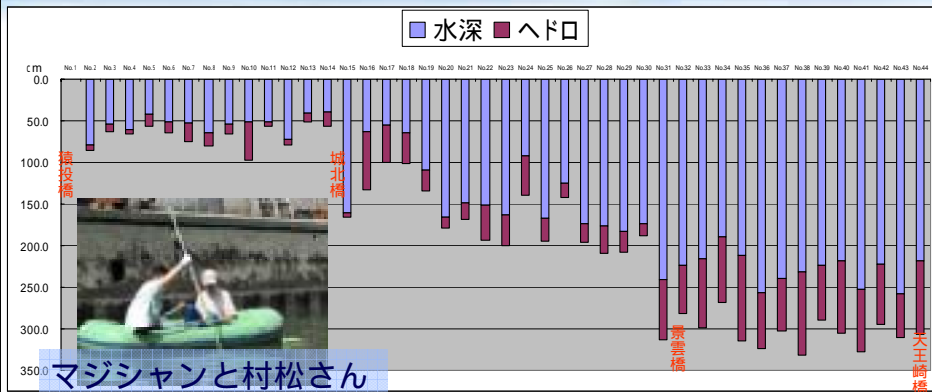


採取地	試料数	全長
幅下橋～小塩橋	4	28cm
天王崎橋北	7	66cm
天王崎橋北	5	46cm
天王崎橋北	4	28cm

堀川へドロ調査前半の山場



堆積へドロの層厚の計測結果

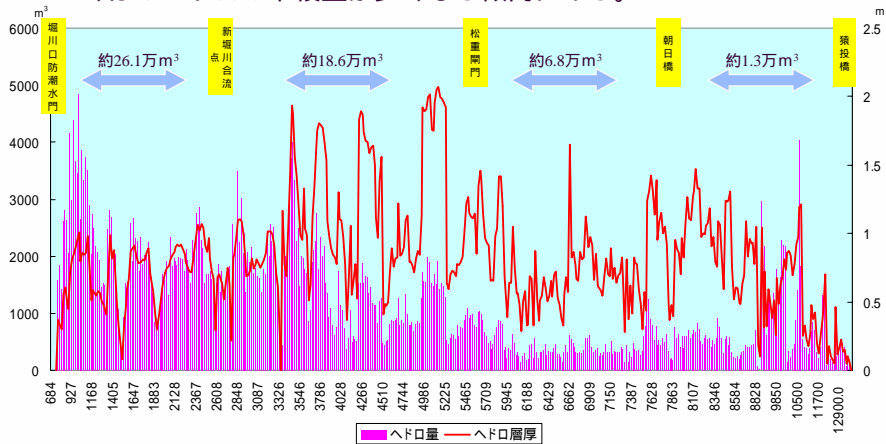


注) 水深およびへドロの層厚は2回の計測値の平均である。水深は干潮時(12時12分)の水位に補正してある。No.1はゴミのために遡上できず計測できなかった。

水深が増すとともにへドロの堆積が多くなる傾向が見られ、特に景雲橋以南においてへドロの堆積が多くなっている様子がわかる。

ヘドロの堆積量の試算

- ・ 松重閘門～朝日橋間において約6.8万 m^3 、朝日橋～猿投橋の区間においては約1.3万 m^3 、総量52.7万 m^3 と試算された。
- ・ 松重閘門以南の中流域でヘドロの層厚が大きく、名古屋港に近づくほどヘドロの堆積量が多くなる傾向にある。



ヘドロ堆積厚の計測における課題

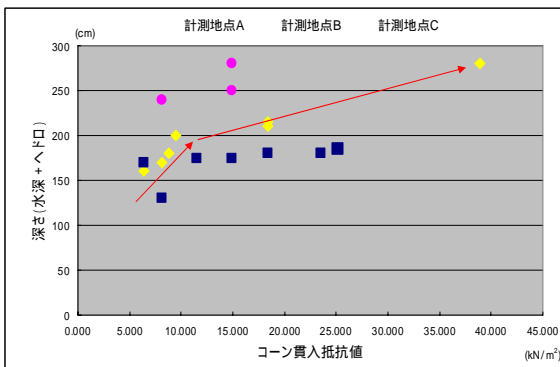
- ・ ヘドロ層厚の計測は、計測器の先端がどこに届いているのかを、ヘドロのサンプリングにより確認することができていない。したがって、先に述べたヘドロの堆積厚には河床の砂礫層が含まれている可能性がある。また、試算したヘドロの堆積量についても同様である。
- ・ 今後は、河床に到達するヘドロ試料の精度の高いサンプリングを行い、計測器により計測されたヘドロの堆積厚について確認することが必要である。

ミッション3：ヘドロって何者？

- ・ **コーン貫入試験**：ヘドロの数値という確証がない！
- ・ **ベーンせん断試験**：せん断強さは下層ほど大きく、含水比が高いほどせん断強さも大きい。
- ・ **初期含水比**：関東ローム層、泥炭に匹敵！
- ・ **液性限界**：関東ローム層に近い！有機質火山灰土や有機土と同様100%を超える。
- ・ **強熱減量**：ヘドロは10数%の有機物を含む。強熱減量の数値が大きいほどせん断強さも大きい。

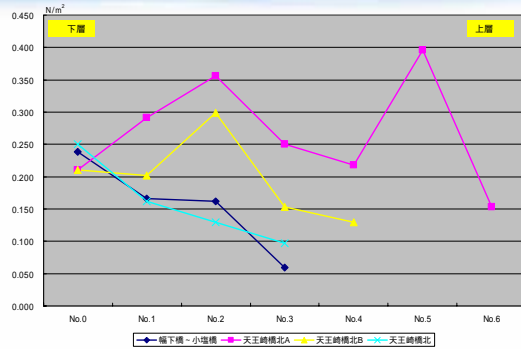
コーン貫入試験

- ・ コーン貫入抵抗値は、深さ方向に対して大きくなる傾向がある。
10kN/m²を超えるあたりから抵抗値の勾配が大きく変化している。
- ・ レッド底面の貫入抵抗が10.69kN/m²であり、レッドが沈まなくなる10.69kN/m²付近からコーン貫入抵抗値の勾配が大きく変化することは興味深い。
- ・ これがヘドロ層であるか、河床の砂礫層であるかの判断は難しい。



ベーンせん断試験

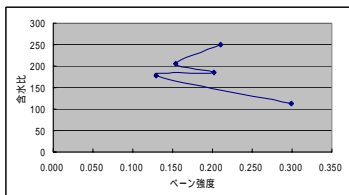
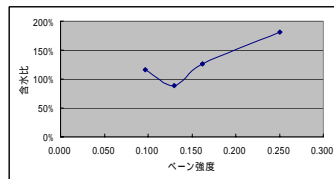
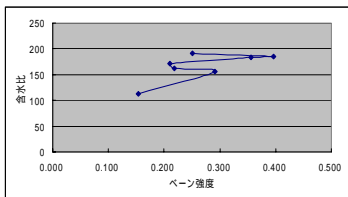
- 堀川のヘド口のせん断強さは、 $0.06\text{N/cm}^2 \sim 0.40\text{N/cm}^2$ であった。
- 試験結果からは、下層ほどせん断力大きいという傾向が見て取れる。また、いずれも最上層はせん断強さが小さく、浮遊ヘド口に近いとみられる。



	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
幅下橋~小塩橋	0.238	0.166	0.162	0.059			
天王崎橋北A	0.210	0.291	0.356	0.251	0.218	0.396	0.154
天王崎橋北B	0.210	0.202	0.299	0.154	0.129		
天王崎橋北	0.251	0.162	0.129	0.097			

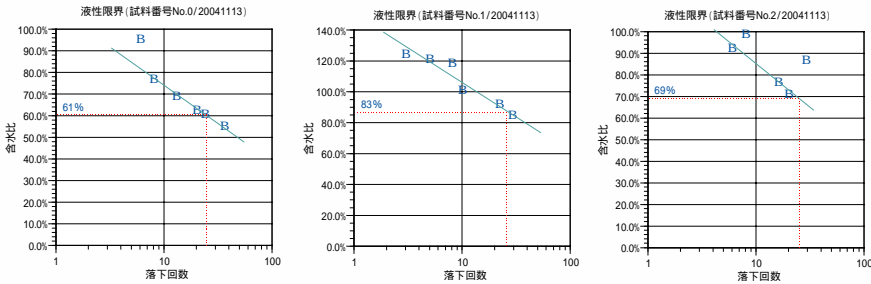
初期含水比

- 初期含水比は100~250%であり、関東ローム層(80~150)、泥炭(110~1300)に匹敵する。また、初期含水比が高いほどせん断強さが大きいという意外な結果が読み取れる。



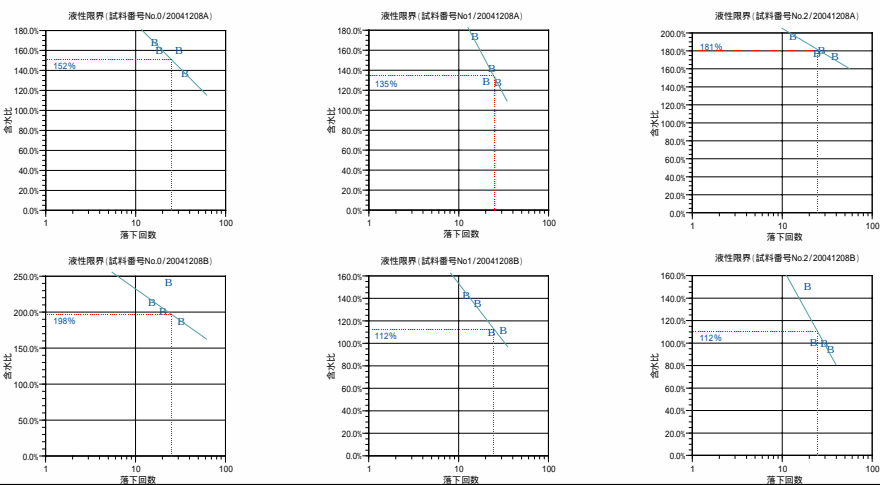
液性限界

- 液性限界試験の結果、112～198%という結果が得られた。これは関東ローム層の80～150%に近い。有機土では100%を超えることが多く、堀川のヘドロも多量の有機物を含んでいるとみられる。
- LL（液性限界）：土が塑性状から液状に移るときの境界の含水比
- 液性限界は、無機質土では100%を超えることは少ないが、有機質火山灰土あるいは有機土では100%を超えることが多い。



液性限界

- 各試料とも塑性限界試験は行えなかった。
- 試験方法の不適切（試験者の未熟）
- 試料の適性（粘土に用いる試験。ヘドロは粘土ではない。）



強熱減量試験

- 土の化学的性質とは、土粒子の鉱物成分や界面化学的性状、含有有機物の成分、pH・電気伝導率などの性質のことを言う。土の物理学的性質や力学的性質と対比されることが多く、最近は地盤環境問題の進展に伴ってその必要性が増加してきている。

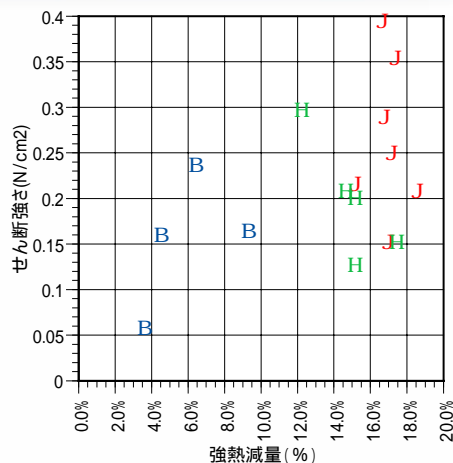
強熱減量：700～800 で炉乾燥試料土を強熱した時の減少質量を強熱前の質量に対する百分率で表したもの

- 強熱減量試験の結果は、3.6～18.6%であったが、多くの試料で10%を超えた。

	No.0	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6
幅下橋～小塩橋	6.4%	9.3%	4.5%	3.6%			
天王崎橋北A	18.6%	16.8%	17.4%	17.2%	15.2%	16.7%	17.0%
天王崎橋北B	14.6%	15.1%	12.2%	17.4%	15.1%		

強熱減量試験

- 強熱減量の値とベンセン断試験によるせん断強さとの関係をみると、強熱減量の数値が大きいほどせん断強さも大きいことが分かる。
- 有機物の含有量が多いほどヘドロのせん断力は強くなるものと言え、有機物がヘドロにせん断強さを与えていると考えられる。



B 幅下橋～小塩橋間 H 天王先橋北B
J 天王先橋北A

採取したヘドロ試料の変色

- 採取したヘドロは、時間が経過すると最上面の色が土色に変色する。これは、ごく薄い層になっており、これを取り除くとヘドロ本来の黒い土が表れる。

ヘドロの黒みはパイライト鉄（硫化鉄）によるものであり、これが空気中の酸素で酸化する（酸化鉄に変わる）ことにより変色する。



強熱減量したヘドロ試料の変色

- 強熱減量を終えたヘドロ試料は、明るく赤っぽい色をした砂であり、とてもヘドロとは思えない様子である。硫化水素と有機成分を失ったヘドロは、美しい土粒子に戻っている。

パイライト鉄（硫化鉄）が酸化鉄に変わることにより赤っぽく変色する。硫黄成分は、 SO_x になった。

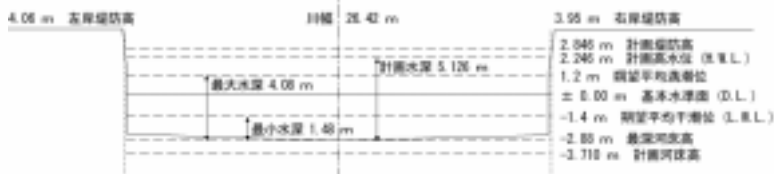


ヘドロの特性は有機物のいたずら？

- ・ コーン貫入抵抗値が 10 kN/m^2 を超えるあたりから抵抗値が大きくなるが、これがヘドロの数値であるという確証は得られていない。河床に到達するサンプリングにより底質を明らかにする必要がある。
- ・ せん断強さが下層ほど大きいということとともに、含水比が高いほどせん断強さが大きいという通常と反する結果も得られた。下層ほどせん断強さが大きく、有機物の含有量が大きいことから、**ヘドロの力学的特性（ヘドロの強さ）に有機物が関係している**とみられる。
- ・ 強熱減量後のヘドロはきれいな砂質土であり、粘性土とは粒子の大きさが異なる。**ヘドロに関東ロームと同様の力学的特性を与えているのは専ら有機物によるもの**と考えられる。

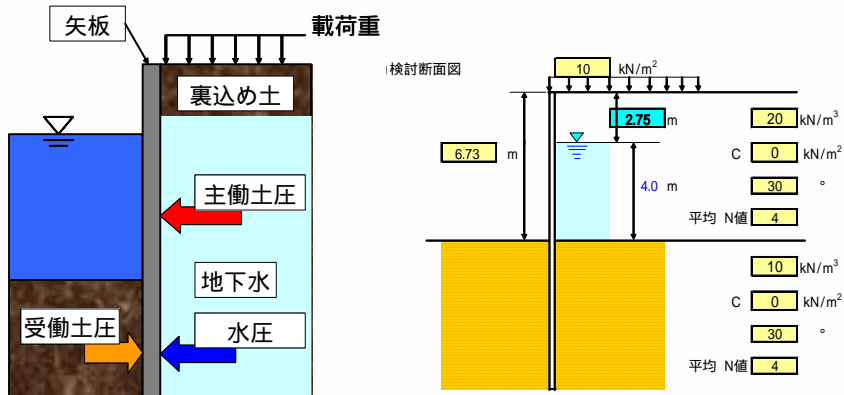
ミッション4：護岸の安定評価

- ・ 堆積ヘドロの浚渫が護岸に与える影響を、天王崎橋北側においてケーススタディを行った。現在は未改修の鋼矢板護岸である。
- ・ 名古屋市の河川断面のデータに基づいて、現在の河川断面をモデル化し、矢板護岸の安定解析を行った。



護岸の安定評価（ケーススタディ）

- 矢板護岸に働く土圧を、設定条件を変えて計算し、**主動土圧強度と残留水圧強度の合計が、受働土圧強度と釣り合う深さ（仮想地盤面）**を算出して比較することにより、ヘドロの浚渫の影響をみた。



矢板護岸に働く土圧のケース設定

- 潮位の条件を同じとして、護岸における**上載荷重（建物荷重）の有無**による仮想地盤面の深さの違いを見た。
- 潮位の変化**による仮想地盤面の深さの違いを見た。
- 潮位と上載荷重の条件を同じにして、**ヘドロの有無**による仮想地盤面の深さを比較した。

			満潮（大潮）	干潮（大潮）
堆積 ヘドロ	with	without (green field)		
		with		
	without	without (green field)		
		with		

矢板護岸の安定解析の結果

- ・ 上載荷重の有無による仮想地盤面の深さは、ケース と で0.28m、ケース と で0.19mと微少なものであった。通常**の建物荷重であれば、護岸に与える影響は軽微である**と言える。
- ・ 建物荷重の有無よりも、**潮位変動のほうが影響が大きい**という結果が出ており、ケース と で1.59m、ケース と で1.60mと、何れも干潮の仮想地盤面が深くなっている。
- ・ **干潮時に護岸に残る残留水圧が与える影響のほうがはるかに大きい。**

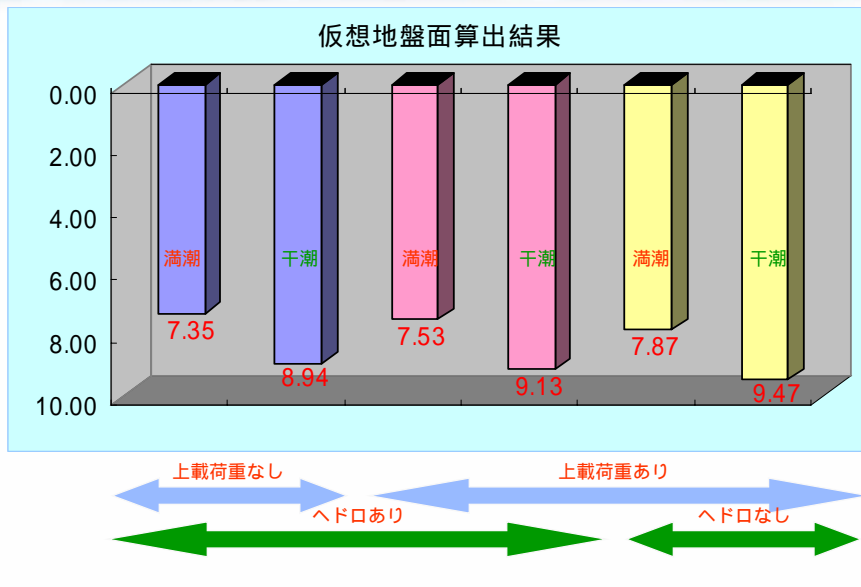
ケース	上載荷重	潮位	主働側側圧	残留水圧	受働側側圧	仮想地盤面
	0kN/m ²	2.75m	34.011 kN/m ²	-12 kN/m ²	22.011 kN/m ²	7.35 m
	0kN/m ²	5.35m	38.809 kN/m ²	14 kN/m ²	52.809 kN/m ²	8.94 m
	10kN/m ²	2.75m	37.576 kN/m ²	-12 kN/m ²	25.576 kN/m ²	7.53 m
	10kN/m ²	5.35m	42.374 kN/m ²	14 kN/m ²	56.374 kN/m ²	9.13 m

矢板護岸の安定解析の結果

- ・ 潮位と上載荷重の条件を同じにして、へドロの有無による仮想地盤面の深さを比較した。ケース と ではその差は0.34m、ケース と でも0.34mであった。このことから**へドロの有無が護岸の安定に与える影響は小さいもの**と考えられる。
- ・ 堀川のように潮位の影響を受ける**感潮河川**においては、**潮位の変動が護岸に与える影響のほうが大きく、へドロの浚渫により護岸が傾く**といった影響を与えることは考えにくい。へドロの浚渫により護岸が傾くような場合は、干潮時において相当危険な状態が既に生まれていると考えられる。

ケース	上載荷重	潮位	主働側側圧	残留水圧	受働側側圧	仮想地盤面
	10kN/m ²	2.75m	38.591 kN/m ²	-12 kN/m ²	26.591 kN/m ²	7.87 m
	10kN/m ²	5.35m	43.390 kN/m ²	14 kN/m ²	57.390 kN/m ²	9.47 m

矢板護岸の安定解析の結果



今後の検討課題

- ・ 本研究では、ヘドロは関東ロームなどと比較的近い力学的特性を有し、それを有機物が支配していることを明らかにした。
- ・ 堀川の未改修の護岸においてヘドロの浚渫を行った場合においても、護岸にはほとんど影響を与えることはないことを明らかにした。

今後は、精度の高いサンプリング（柱状採泥）を行うことにより、ヘドロの層厚をより正確に計測することが課題である。

東海地震への供えを必要とする当地域においては、都市河川の護岸において、液状化対策が喫緊の課題になると考えられる。

