

# 締固め土の工学的特性

- 強度、圧縮性、透水性 -

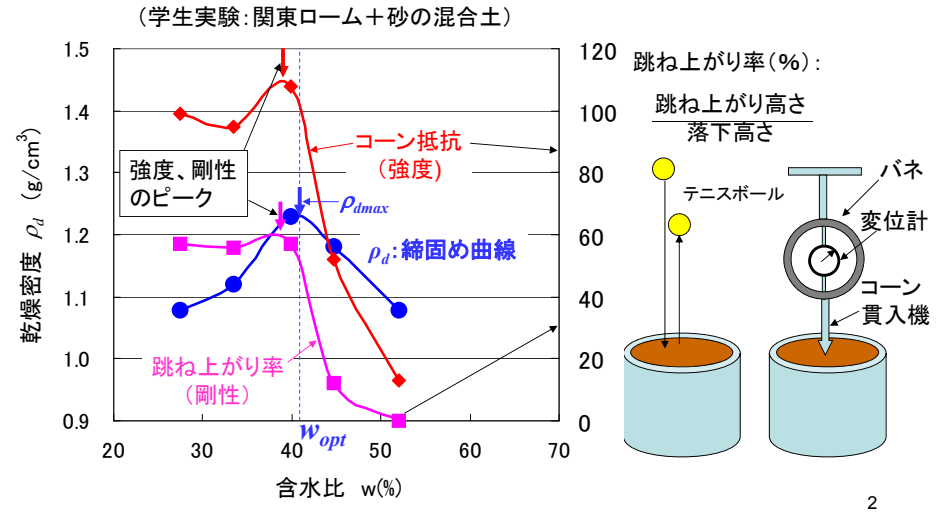
•すべての土構造物の築造には締固めが行われる

- 道路盛土、鉄道盛土、宅地造成 <= 沈下対策、安定性向上
- 空港、掘削後の埋め戻し <= 沈下対策
- 廃棄物処分場のライナー <= 遮水材
- フィルダム <= 沈下対策、安定性の向上、遮水層、フィルター層
- 緩い砂地盤 <= 液状化対策

- 安定性向上 (強度の増加)
- 沈下対策 (圧縮性の低下、剛性の増加)
- 遮水材 (透水性の低下)
- フィルター材 (透水性、粒径のコントロール)
- 液状化対策 (力学特性の改善)



# 締固め度と強度、剛性



# 締固め土の工学特性

土の工学的特性 = f(密度)  
密になればなるほど、  
硬く、強く、水を通し難い

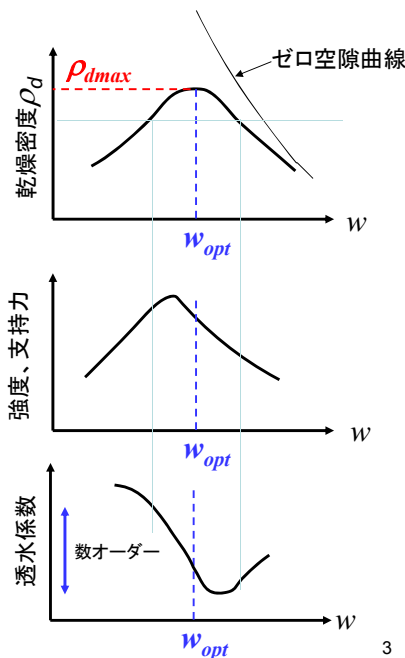
強度最大の含水比 <  $w_{opt}$

why??

透水係数:

締固めにより数オーダーの変化  
透水係数最小の含水比 >  $w_{opt}$

why??



3

# 現場締固め

施工後、降雨等により  
不飽和 => 飽和に近い状態

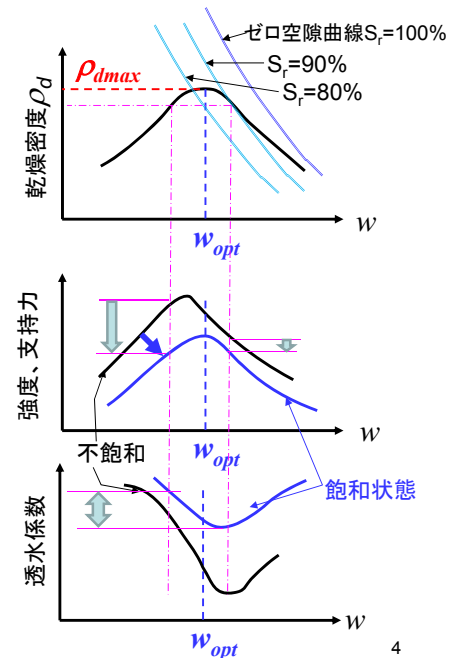
- 強度低下
  - 圧縮性増加
  - 透水係数上昇
- 沈下 (コラプス)

含水比の変化大きいほど大きい

施工後の強度低下  
透水係数の上昇  
の抑制

実際の現場締固めの含水比

$w_{opt}$ より大きく設定



4

# 現場締固め度 $D_c$

- 実際の現場の締固めは、突き固めによる締固め試験(室内試験)と異なる。
- 多くの土の自然含水比( $w_n$ )  $> w_{opt}$

現場締固め土の密度  $\leq$  締固め試験で求まる  $\rho_{max}$

現場の締固め管理:

現場密度:  $\rho_d$ 、空隙率:  $v_a$ 、飽和度:  $S_r$

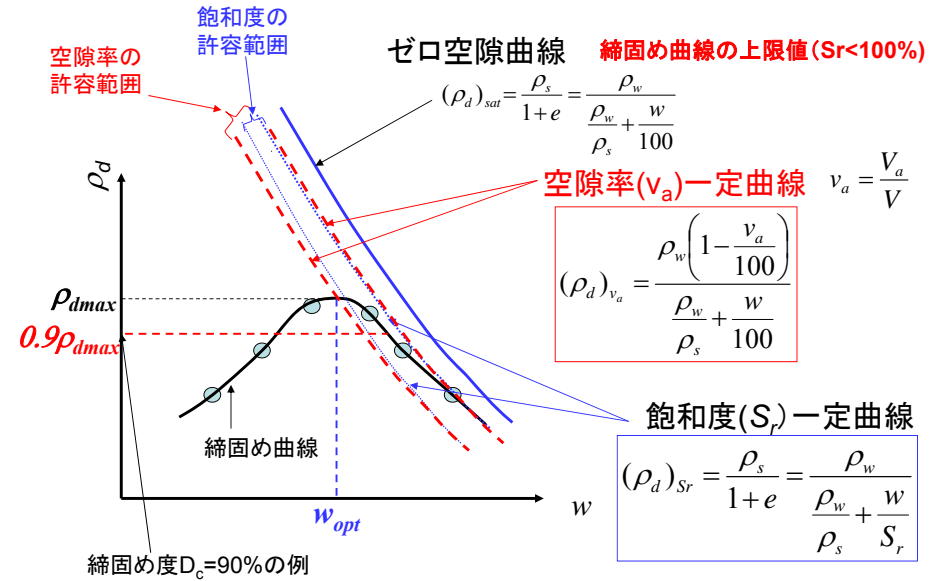
$$D_c = \frac{\text{現場の締固め乾燥密度}}{\text{室内試験で求まる最大乾燥密度}} \times 100 (\%)$$

道路工事: 盛土  $D_c \leq 85-95\%$

路床、路盤  $D_c \leq 90-95\%$

空隙率:  $2\% \leq v_a \leq 10\%$ 、飽和度:  $85\% \leq S_r \leq 95\%$ 、

# 現場締固め



# 現場締め固め機械



振動ローラ



ブルドーザ



タイヤローラ



振動ローラ



タンパー

# 道路の設計、施工 アスファルト舗装の構造

asphalt pavement

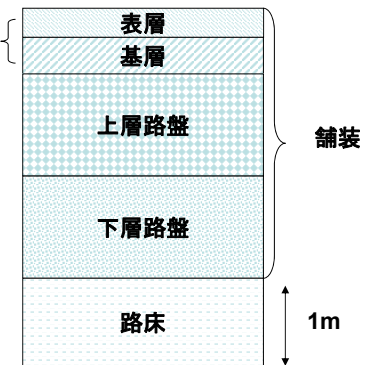
舗装の設計、施工:  
路床や路盤の強さの評価

アスファルト  
(瀝青材料)

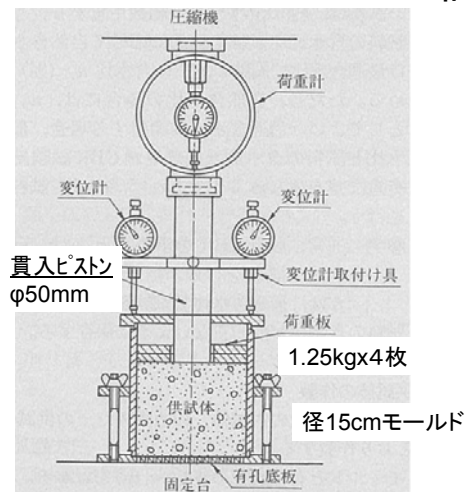
CBR (California Bearing Ratio)  
路床土支持力比

2.5mmと5mm貫入時の

$$CBR = \frac{\text{荷重強さ(荷重)}}{\text{標準荷重強さ(荷重)}} \times 100 (\%)$$

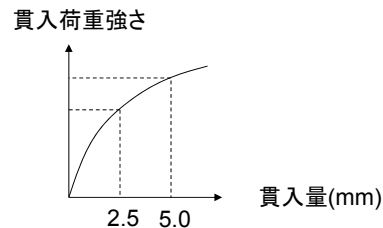


## CBR試験



供試体の作製: 突き固めによる締固め

(JIS) 設計CBR: ランマー重量: 4.5kg、  
落下高さ45cm3層(1層当り落下数: 67回)  
ただし、各機関によって異なる

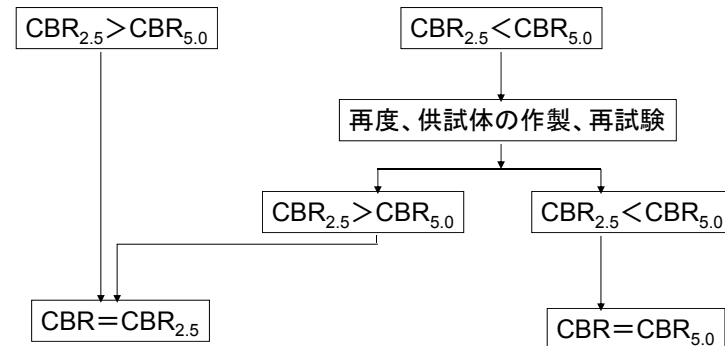
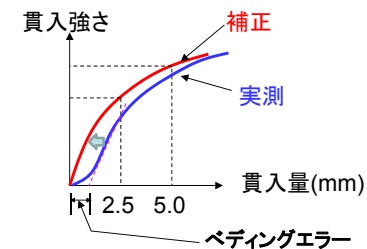


貫入量 (mm)	標準荷重強さ (圧力: MN/m <sup>2</sup> )	標準荷重強さ (荷重: kN)
2.5	6.9	13.4
5.0	10.3	19.9

吸水膨張試験 => CBR試験  
良好な路床: 膨張量1%以下、  
通常: 2%以下、不良: 2%以上

## CBRの決定

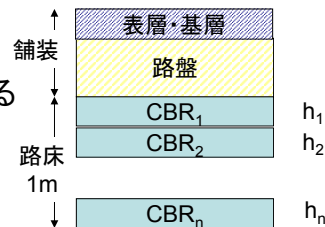
CBR<sub>2.5</sub>: 2.5mmにおけるCBR  
CBR<sub>5.0</sub>: 5.0mmにおけるCBR



## 設計CBR

路床土について求め、舗装の厚さを決める

$$CBR_n = \left( \frac{h_1 CBR_1^{1/3} + h_2 CBR_2^{1/3} + \dots + h_n CBR_n^{1/3}}{100} \right)^2$$



区間の CBR (%)	2~3	3~4	4~6	6~8	8~12	12~20	20以上
設計 CBR (%)	2	3	4	6	8	12	20

舗装厚さ <= 交通量、設計CBR、

交通量区分 L、 A B C D  
(大型100台/日未満) (100-250) (250-1000) (1000-3000) (3000以上)

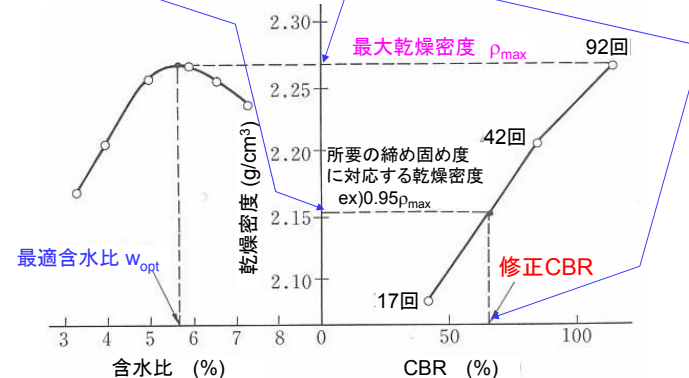
換算舗装厚さ

設計CBR=3:	15cm	19cm	26cm	35cm	45cm
設計CBR=20:	11cm	13cm	17cm	20cm	26cm

等価換算係数a<sub>n</sub>: 表層・基層(加熱アスファルト混合物): 1、  
上層路盤: 0.8~0.35、下層路盤: 0.25~0.2 (工法、材料、規格に依存)

## 修正CBR: 路盤に用いる材料の品質を決める

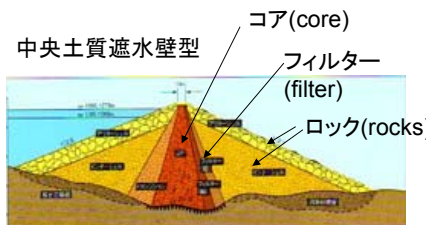
路盤材料などを対象に3層92回突固めて得られる最大乾燥密度  
に対する所要の締固め度に相当する浸水CBR:



一般道路、高速道路、鉄道、簡易舗装道路等によって、路盤(上層、下層)のCBRが規定されている。Ex) 高速道路、(上層: 修正CBR80%以上、下層: 30%以上)

## ロックフィルダム: Rockfill dam

フィルダム: 藤沼湖ダム 崩壊?



上ダム: 高瀬ダム



地下発電所

発電量: 128万kW

下ダム: 七倉ダム(ロックフィル)



P1

13

高瀬ダム(長野県大町市)  
 堤高/堤頂長 176m/362m  
 堤体積 11590千m<sup>3</sup>  
 総貯水量(有効貯水容量) 7620万m<sup>3</sup>(1620万)

着工: 1969、竣工: 1979

「湖水誕生」: 曾野綾子

堤高/堤頂長 125m/340m

堤体積 7380千m<sup>3</sup>

総貯水量(有効貯水容量) 3250万m<sup>3</sup>(1620万)

## ダム材



ウィキペディア: ロックフィルダム



14

## 本日のTechnical terms

現場締固め度: site compaction ratio

アスファルト舗装: asphalt pavement

CBR: California Bearing Ratio

設計CBR: design CBR

修正CBR: modified CBR

ロックフィルダム: rockfill dam

コア: core

フィルター: filter

揚水式発電: Pumped Storage Power Plant

### 小テスト(7/29)

センターコアタイプロックフィルダムの以下の3要素(材料)の主たる目的(機能)、材料特性(物理特性(粒径、粒度)、力学特性)を述べよ。

- 1) コア材
- 2) フィルター材
- 3) ロック材

15

## 期末試験 Key words

(土の基本物理量、地盤内の応力)

Darcy則、透水試験、連続条件、

フローネット、応力(全応力、有効応力、間隙水圧)、地下水流れ、ダム揚力

透水力、水による破壊現象(ポインティング、ヒービング、パイピング)

不飽和土の特性(表面張力、サクシオン、凍上)

プロクターの原理

締固め試験、飽和度、空隙率、締固め度

強度、透水性、舗装構造、CBR試験

土構造物(ダム、盛土、道路舗装、など)

16

# 世界の大ダム

**三峡ダム**(中国湖北省、揚子江) (1993-2009)

**重力式コンクリートダム**

発電出力: 2250万kW (70万kW/機 × 32機)

堤高/堤頂長: 185m/2310m

堤体積: 16,000千m<sup>3</sup>

流域面積: 1,000,000km<sup>2</sup>

淡水面積: 10,840km<sup>2</sup>

総貯水量(有効貯水容量): 393億m<sup>3</sup>(221.5億) 琵琶湖貯水量(280億m<sup>3</sup>)

**イタイプダム**(ブラジル、パラグアイ、パナラ川) (1975-1991)

**中空重力式コンクリートダム+ロックフィルダム**

発電出力: 1400万kW (70万kW/機 × 20機) =>ダム便覧1260万kW

堤高/堤頂長: 196m/1400m

堤体積: 12,300千m<sup>3</sup>

流域面積: 1,350,000km<sup>2</sup>

淡水面積: 1,350km<sup>2</sup>

総貯水量(有効貯水容量): 290億m<sup>3</sup> ( )

その他、

**フーバーダム**(アメリカ) (1931-1936)

**重力式アーチダム**、221m/379m/2500千m<sup>3</sup>/639km<sup>2</sup>/400億m<sup>3</sup>/208万kW

**アスワンハイダム**(エジプト) (1960-1970)

**ロックフィル**、111m/3830m/44000千m<sup>3</sup>/5,250km<sup>2</sup>/1100億m<sup>3</sup>/210k万W

17

# 日本の大ダム

**黒部第四ダム**(富山県黒部川) (1956-1963) 関西電力 間組、熊谷、鹿島

**アーチ式コンクリートダム**

発電出力: 33.5万kW

堤高/堤頂長: 186m(日本一)/492m

体積: 1582千m<sup>3</sup>

流域面積: 188.5km<sup>2</sup>

淡水面積: 3.49km<sup>2</sup>

総貯水量(有効貯水容量): 1.99億m<sup>3</sup> (1.49億)

**奥只見ダム**(新潟県(左岸)、福島県(右岸)阿賀野川水系只見川) (1953-1960) 電発 鹿島

**重力式コンクリートダム**

発電出力: 56万kW

堤高/堤頂長: 157m/480m

体積: 1636千m<sup>3</sup>

流域面積: 595km<sup>2</sup>

淡水面積: 11.5km<sup>2</sup>

総貯水量(有効貯水容量): 6.01億m<sup>3</sup> (4.58億)

**徳山ダム**(岐阜県 木曾川水系揖斐川) (1971-2008) 多目的 水資源公団 (国土省)熊谷、大成、青木

**センターコアタイプロックフィルダム**

発電出力: 15.3万kW (中電)

堤高/堤頂長: 161m/427m

体積: 13700千m<sup>3</sup> (日本一)

流域面積: 254km<sup>2</sup>

淡水面積: 13km<sup>2</sup>

総貯水量(有効貯水容量): 6.60億m<sup>3</sup> (日本一)(3.80億)



18