

土の締固め特性(compaction)

•土の締固めの効果

家の土台: 沈下減少(硬くなる)

テニスクレイコート: ボールの弾み向上(硬くなる)

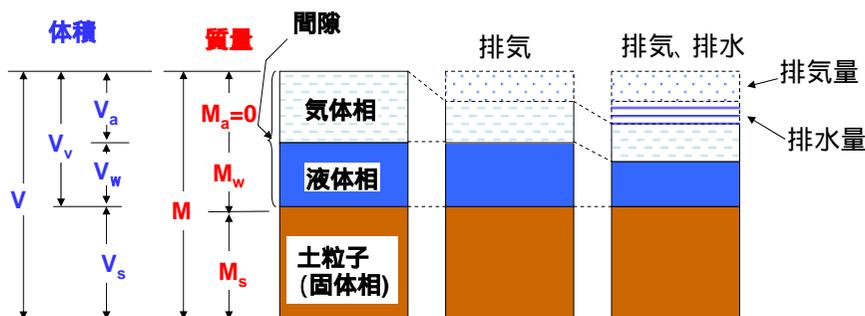
河川堤防: 硬く、強く、水が通り難くなる

•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 <= 難透水層
- フィルダム <= 沈下対策、安定性の向上、難透水層
- 緩い砂地盤 <= 液状化対策

1

土の締固め



締固め:

空気と水の強制排出



間隙の減少



密度の増加(乾燥密度) $\rho_d = \frac{M_s}{V} = \frac{\rho_s}{1+e}$

間隙比 $e = \frac{V_v}{V_s}$

含水比 $w = \frac{M_w}{M_s} \times 100(\%)$

飽和度 $S_R = \frac{V_w}{V_v} \times 100 (\%)$
2

土の締固め効果

締固めに影響する因子

(ρ_d の大小)

ρ_d の絶対値

ρ_d の変化量(圧縮性)

•土の種類(粒径)

•粒度

•含水比

•締固めエネルギー

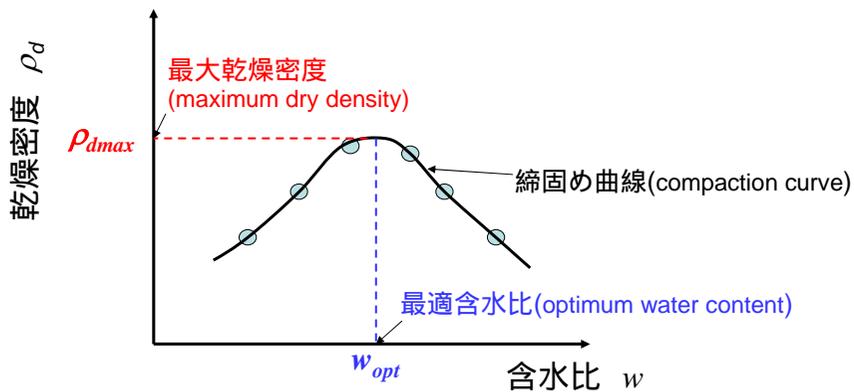
•締固め方法

(動的、静的、ブルドーザ、ローラー、振動ローラ)

3

土の締固め曲線

締固めエネルギー、方法を同じにして、含水比だけを変化して、締固めを行って、 w と ρ_d の関係をプロットすると、



4

Proctorの原理(1933)

“締固めに影響を及ぼす諸因子の中で含水比(w)以外の条件を同じにして、 w だけを変えていくと、乾燥密度(ρ_d)が最大となる含水比(最適含水比: w_{opt})が存在する。”



“エネルギーを大きくしても、含水比が適切でないと、小さな締固めエネルギーの ρ_d に及ばないことがある。”

実験理論: 定量的な理論では w_{opt} や ρ_d は求められない。
定性的な説明は可。

5

締固め機構

定性的な w_{opt} の存在理由:

wが小さい時

粘性土: 土が硬すぎ圧縮困難、亀裂が入る
砂質土: 圧縮しても結合力が期待できない
(サクシオンが小さい)

この中間
のwで
 ρ_d 最大

粒子が加圧中に自由に動く
(せん断変形にエネルギーが消費される)

wが大きい時

砂質土: サクシオン消失
粘性土: 液状化(強度低下、せん断変形)
↳ エネルギー消費

締固めが効率的に行われる条件:

土粒子が密実化するための再配列(適当な水分: 潤滑材)

一旦密実化したら、そのままの状態を保つ結合力(サクシオン)

細粒土では、 w_{pot} は w_p (塑性限界)よりやや上: サクシオンは最大、but 硬すぎ ⁶

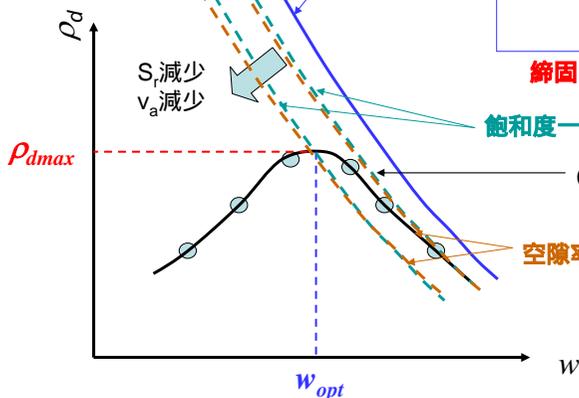
締固め曲線と飽和度

$$eS_r = wG_s$$

ゼロ空隙曲線 (zero void ratio curve)
($S_r=100\%$ の時の ρ_d と w の関係)

$$e = \frac{w}{S_r} \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

$$(\rho_d)_{sat} = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{100}} \quad (1)$$



締固め曲線の上限值 ($S_r < 100\%$)

飽和度一定曲線: 任意の飽和度における関係

$$(\rho_d)_{Sr} = \frac{\rho_s}{1+e} = \frac{\rho_w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{S_r}} \quad (2)$$

空隙率一定曲線:

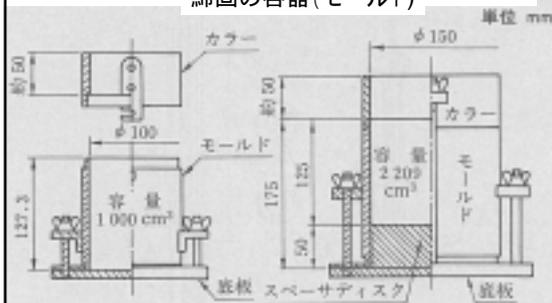
$$(\rho_d)_{v_a} = \frac{\rho_w(1-v_a/100)}{\frac{\rho_w}{\rho_s} + \frac{w}{100}} \quad (3)$$

w_{pot} まで、 ρ_d 上昇、飽和度上昇、 w_{opt} 越すと飽和土の上昇頭打ち、 ρ_d 減少

締固め試験

突固めによる土の締固め試験 (JIS A1210)

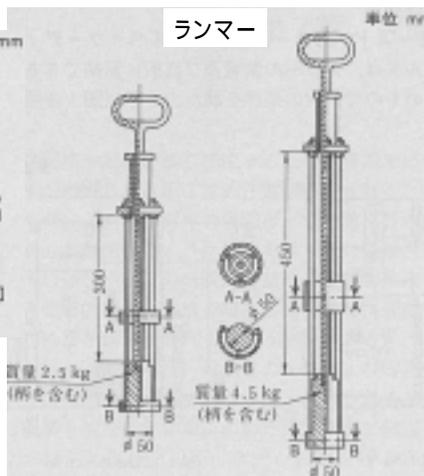
締固め容器 (モールド)



10cmモールド
($V=1,000\text{cm}^3$)

15cmモールド
($V=2,209\text{cm}^3$)

ランマー



3kgランマー
(落下高さ30cm)

4.5kgランマー
(落下高さ45cm)

突固め試験の種類と方法

| 呼び名 | ランマー質量 (kg) | モールド内径 (cm) | 突固め層数 | 一層当たりの突固め数 | 許容最大粒径 (mm) |
|-----|-------------|-------------|-------|------------|-------------|
| A | 2.5 | 10 | 3 | 25 | 19 |
| B | 2.5 | 15 | 3 | 55 | 37.5 |
| C | 4.5 | 10 | 5 | 25 | 19 |
| D | 4.5 | 15 | 5 | 55 | 19 |
| E | 4.5 | 15 | 3 | 92 | 35.5 |

試料の準備法:

- a: 乾燥法、繰返し法
- b: 乾燥法、非繰返し法
- c: 湿潤法、非繰返し法

乾燥法: 一旦乾燥、加水 (w増加)
 湿潤法: 自然状態のwから、w増減

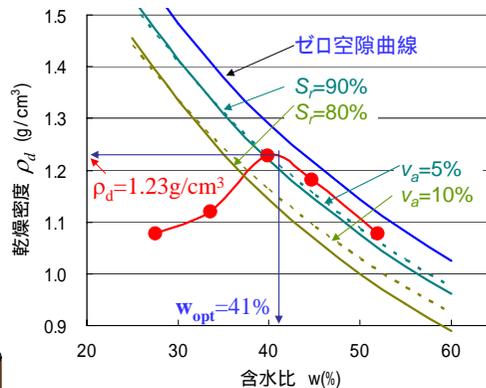
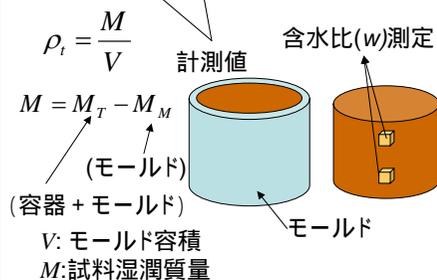
繰返し法: 試料再利用
 非繰返し法: 再利用なし

9

締固め試験結果

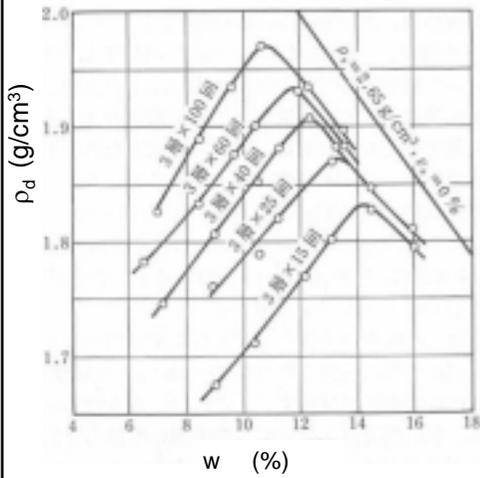
(学生実験: 関東ローム + 砂の混合土)

| ρ_t | W | ρ_d |
|----------|-------|----------|
| 1.375 | 27.5 | 1.078 |
| 1.496 | 33.52 | 1.120 |
| 1.719 | 39.87 | 1.229 |
| 1.709 | 44.67 | 1.181 |
| 1.638 | 51.95 | 1.078 |



10

締めエネルギーの影響

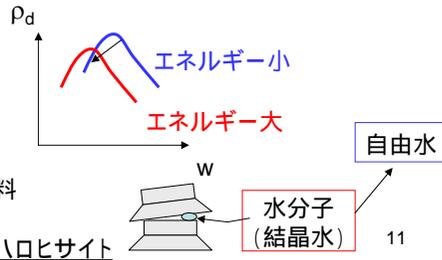


エネルギー大: ρ_{dmax} 大
 w_{opt} 小

why: 高エネルギー高圧縮、
 これを保つ大きなサクション
 (小さな含水比)

but 火山灰土(ローム)

過剰転圧(overcompaction)



破砕性材料

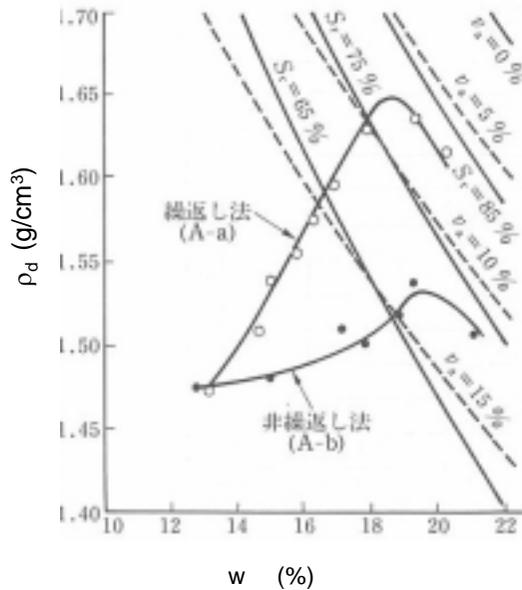
加水ハロヒサイト

自由水

水分子
(結晶水)

11

繰返し法と非繰返し法



締めによる粒子破碎

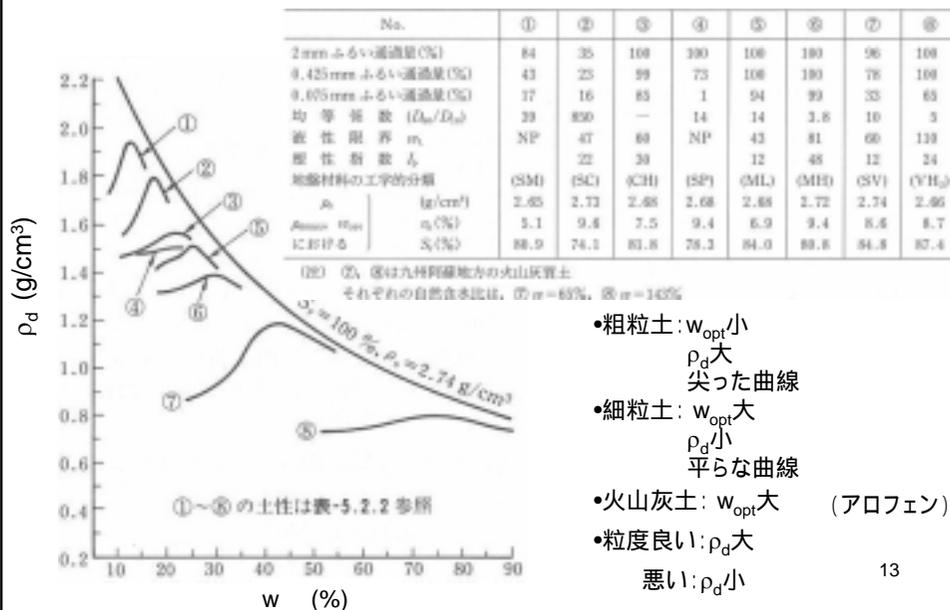
細粒化

締め固め特性の変化

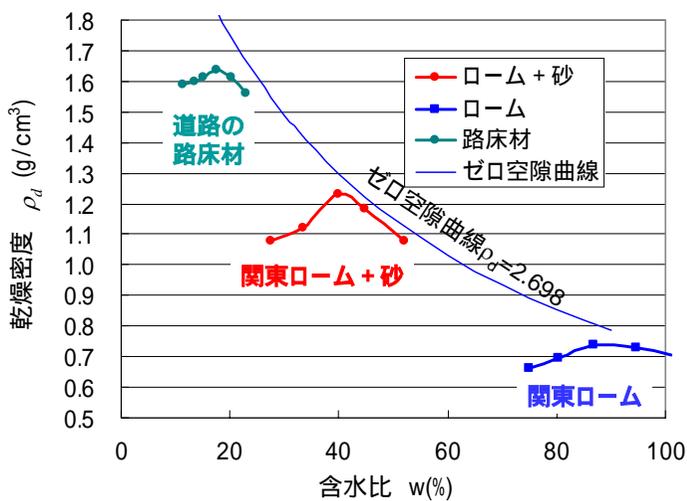
火山灰土、
 まさ土(風化花崗岩)

12

土の種類と締めめ曲線



学生実験結果



本日のTechnical terms

プロクターの原理: Proctor's principle

締固め: compaction;

締固め曲線: compaction curve;

最大乾燥密度: maximum dry density;

最適含水比: optimum water content;

ゼロ空隙曲線: zero void ratio curve;

締固めエネルギー: compaction energy

突固めによる締固め試験:

過剰転圧: overcompaction;

小テスト(7/15)

スライド3pの各種因子の ρ_d の絶対値と ρ_d の変化量(圧縮性)に与える影響を定性的に説明せよ。

宿題(提出7/19)

p9の5つの方法における、単位体積当たりの締固めエネルギーを求めよ。