

建設発生土の天日乾燥と良質土混合による改良効果

土屋産業(株) 村上了

1. 初めに

発生土を利用する場合，土の性状と利用用途に応じて様々な利用法がある。

その用途ごとに要求される品質や性状が異なるので，用途に応じた工夫が必要となり，その用途に適応させるために土質の改良が検討される。

ここでは，業務で行った含水比低下及び粒度調整により改良した土の締固め試験，コーン指数試験，透水試験から，それぞれの特性について考察した結果をまとめた。

1. 1 参考業務について

沼津市西部の狩野川西部浄化センターの調整池掘削工事で発生した不良土に対して、以下の建設材料での使用を目標として改良を行った。

- ①堤体（沼川新放水路における築堤材料）
- ②建設発生材料（第1種，第2種，第3種）
- ③路体材（静岡県 盛土取扱基準）



2.1 改良方法

- ①含水比低下：天日乾燥による改良。
- ②粒度調整：良質土との混合による改良。

2.2 母材・改良土について

- | | | |
|-----|---|--|
| 母材 | { | ①不良土：狩野川西部浄化センターの掘削現場から採取された含水比の高い不良土。（有機質礫質砂SOHG） |
| | | ②良質土：富士砂防堰堤から採取された砂礫。（礫質砂SG） |
| 改良土 | { | ③不良土（天日乾燥）：上記の不良土を天日乾燥させた改良土。（有機質礫質砂SOHG） |
| | | ④混合土（Ⅰ，Ⅱ）：不良土及び不良土（天日乾燥）を， |

良質土と一定の割合で混合した改良土。

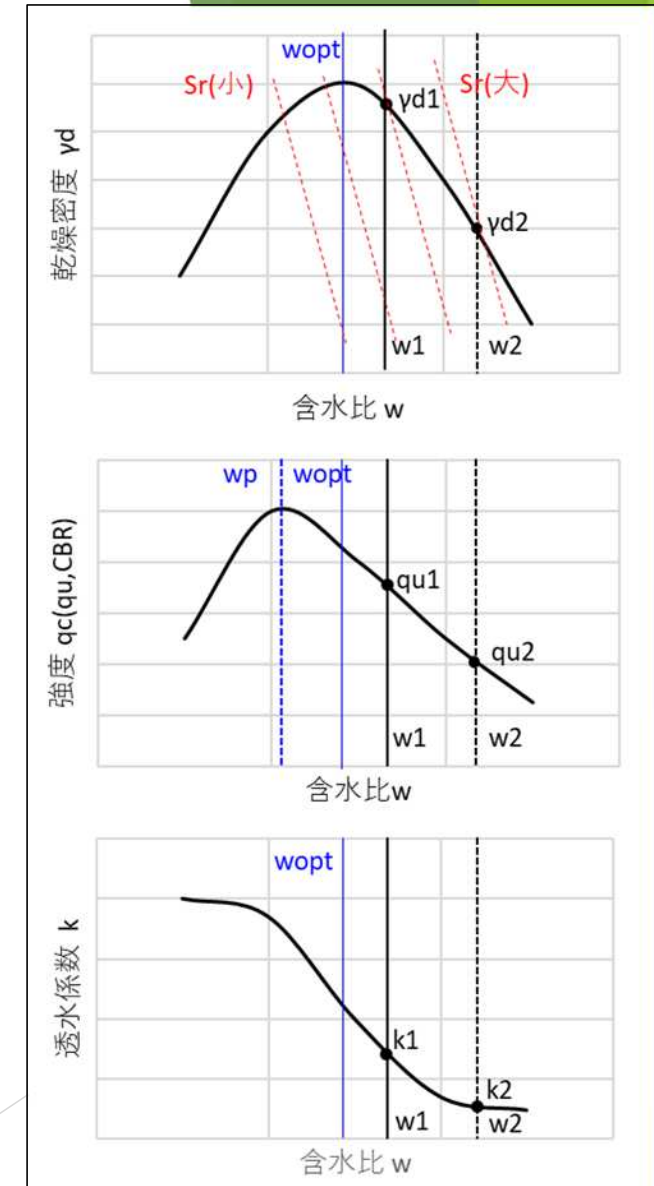
	建設発生土	
	不良土	不良土(天日乾燥)
良質土	混合Ⅰ	混合Ⅱ

3. 含水比低下による改良効果(天日乾燥)

含水比を低下させて,

同じエネルギーで締め固めると以下の影響を受ける。

①乾燥密度 γ_d	試験条件が w_{opt} より湿潤側のため, w の低下で γ_d は 増加 する。
②飽和度 S_r	w の低下で S_r は 低下 する。
③湿潤密度 γ_t	w の低下で γ_t は 増加 する。 ※ $\gamma_t = (1 + w) \cdot \gamma_d$
④間隙比 e	w の低下で e は 低下 する。 ※ $e = \rho_s \cdot \gamma_w / \gamma_d - 1$
⑤コーン指数 q_c	試験条件が w_p より湿潤側のため, w の低下で q_c は 増加 する。
⑥透水係数 k	w の低下で k は 増加 する。



4.1 混合土の締固め特性について

①混合土の締固め特性は，混合比 R に依らず

- ・ $(S_r)_{opt} = 70 \sim 90\%$ の範囲に収まる。
- ・ $\gamma_d \sim S_r$ 曲線の形状は，ほぼ同じ形状を示す。(相似形である)
- ・ 正規化した締固め曲線は，既往の文献と類似性が認められた。

②混合土の最大乾燥密度 γ_{dmax} と最適含水比 w_{opt} の間には

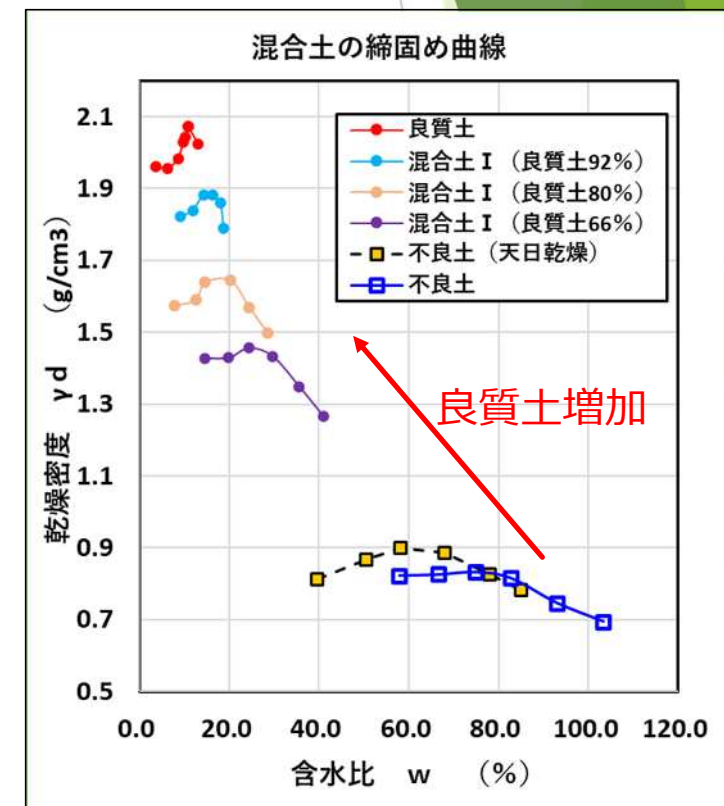
- ・ 一義的な関係(強い相関関係)が認められた。
- ・ 母材の締固め特性値から，混合土(任意の混合比)の締固め特性を推定できる

(1) 締固め曲線と混合比

① 乾燥密度 γ_d ~ 含水比 w の関係

締固め曲線は一般的な特徴を持ち、
良質土の混合割合が高くなると

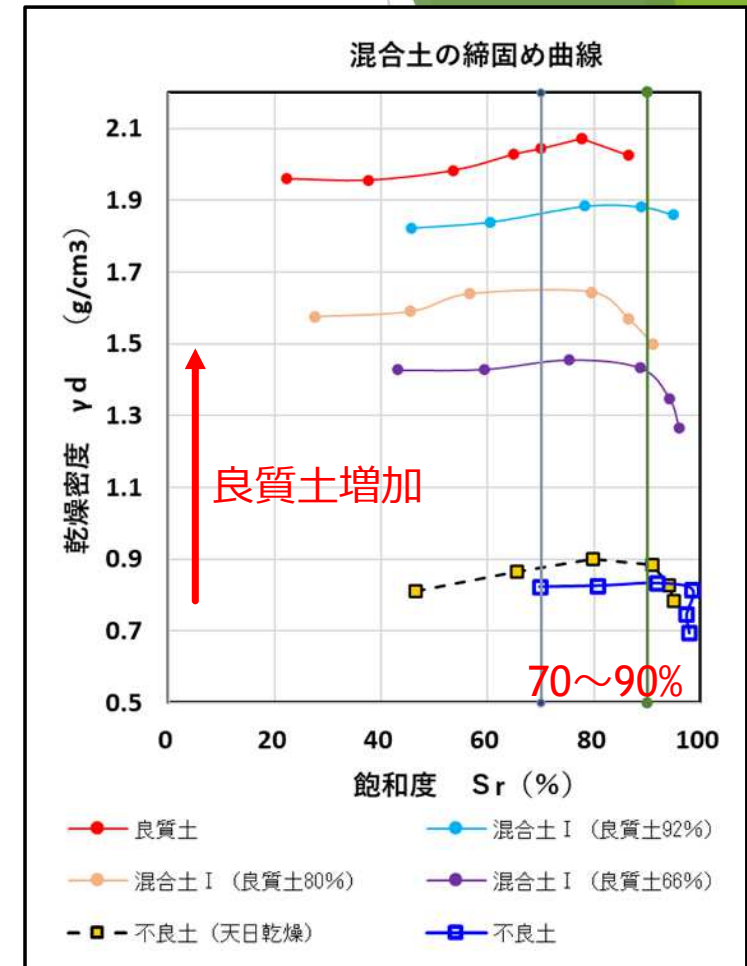
- ・ 含水比の低い左側に移動。
- ・ 曲線のピークは左上に向かって上昇。
- ・ 曲線の形状は細粒土ほどなだらかで、
粗粒土に移行するほど勾配が急な形になる。



②乾燥密度 γ_d ～ 飽和度 S_r の関係

締固め曲線は，良質土の混合割合が高くなると

- ・ 上方に移動する。
- ・ γ_{dmax} に対応する $(S_r)_{opt}$ は，ほぼ一定値の範囲（70～90%）に収まる。
- ・ 土質に関わらず，「 $\gamma_d \sim S_r$ 」の形状ほぼ同じ形状となる。

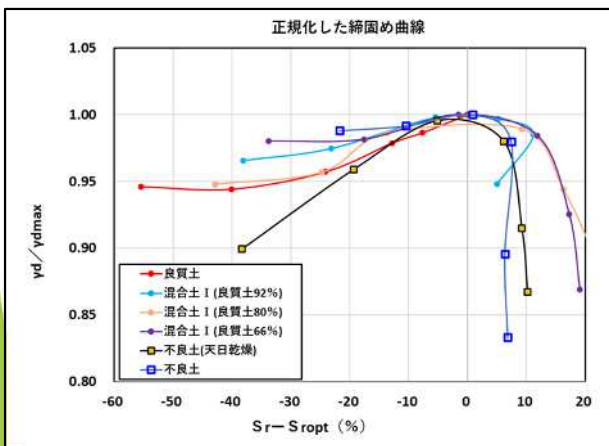


③正規化した締固め曲線

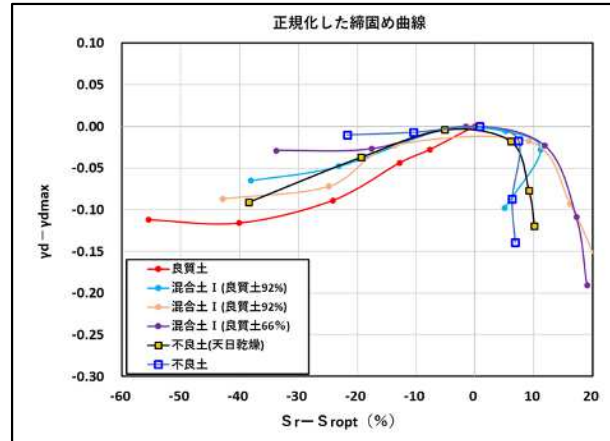
締固め曲線を，以下のように γ_{dmax} ， $(S_r)_{opt}$ で正規化して整理した。

- 「 $\gamma_d - \gamma_{dmax}$ 」 ～ 「 $S_r - (S_r)_{opt}$ 」
- 「 $D_r (= \gamma_d / \gamma_{dmax})$ 」 ～ 「 $S_r - (S_r)_{opt}$ 」

「 $\gamma_d - \gamma_{dmax}$ 」 ～ 「 $S_r - (S_r)_{opt}$ 」

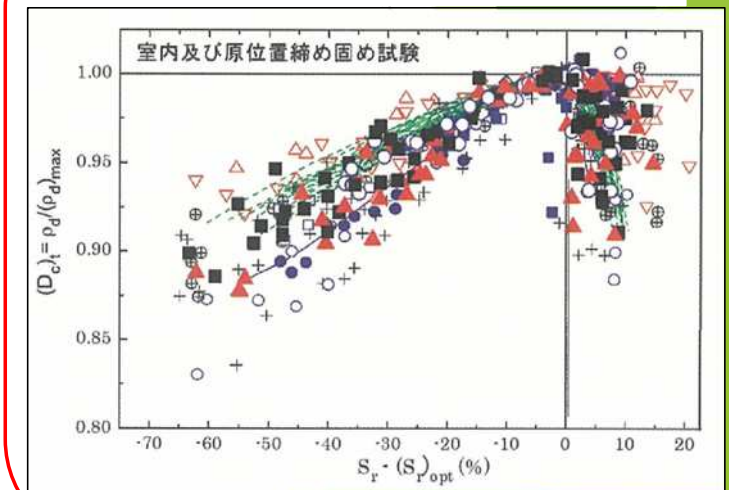


「 $D_r (= \gamma_d / \gamma_{dmax})$ 」 ～ 「 $S_r - (S_r)_{opt}$ 」



類似

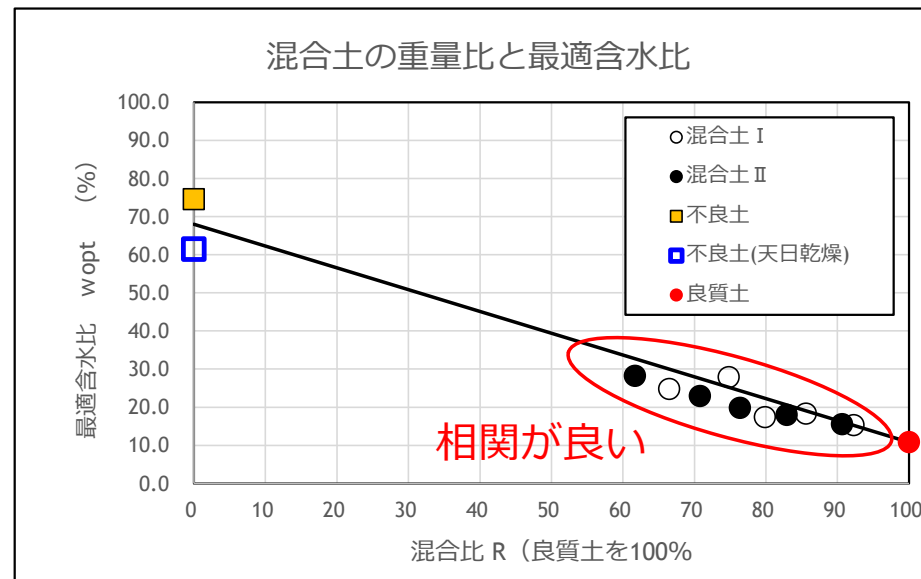
既往の正規化した締固め曲線*



*出典：土の締固め管理-現状・新たな展開・展望-P6(総合土木研究所)

(2) 最適含水比 w_{opt} と混合比 R の関係

不良土（混合比0%）と良質土（混合比100%）は混合比に比例し、それぞれの値を結んだ直線上にプロットされ、相関が良い。



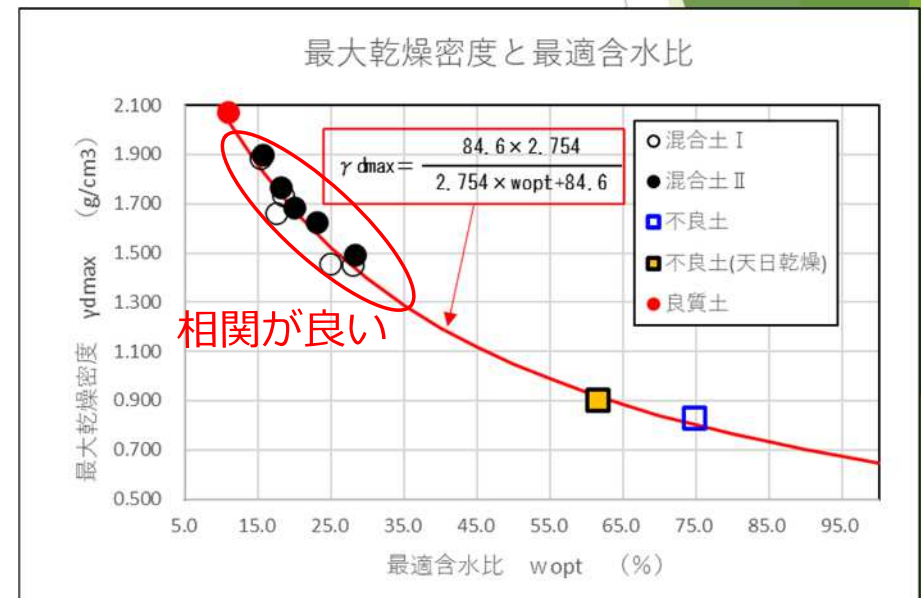
(3) 最大乾燥密度 γ_{dmax} ~ 最適含水比 w_{opt} の関係

- ・ γ_{dmax} と w_{opt} の関係式は

$$\gamma_{dmax} = \frac{(Sr)_{opt} \times \rho_s}{\rho_s \times w_{opt} + (Sr)_{opt}}$$

で表される。

- ・ 試験値はほぼ計算値上にプロットされ、計算値との相関は非常に良い。



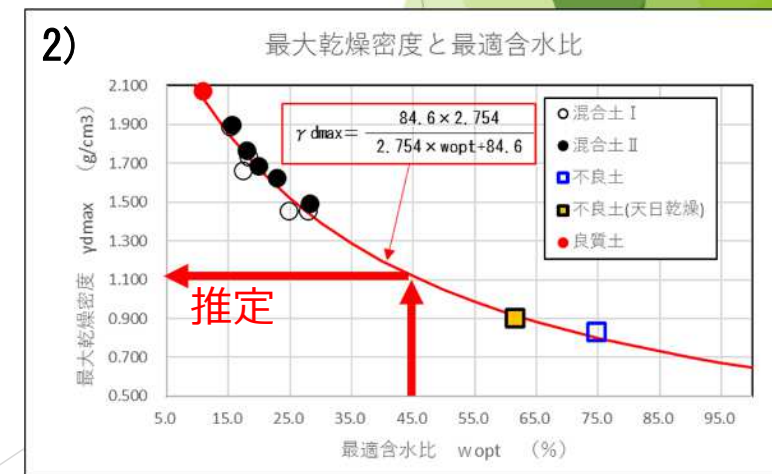
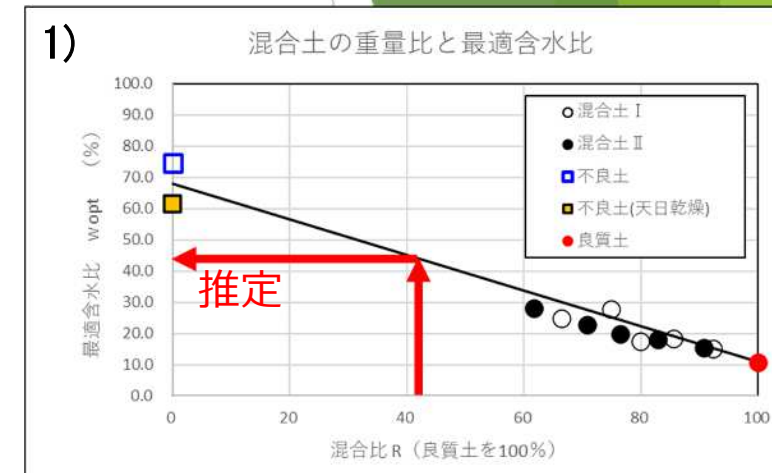
パラメータ	不良土	良質土	平均
ρ_s (g/cm ³)	2.597	2.911	2.754
Sr_{opt} (%)	91.5	77.6	84.6

(4) 混合土の締固め特性 (γ_{dmax} , w_{opt}) の推定法

「Rと w_{opt} の関係」, 「 w_{opt} と γ_{dmax} の関係」の相関性が高く, その関係は母材特性で表せるため, 母材特性から混合土の締固め特性を精度よく推定できる。

1) 「R $\sim w_{opt}$ 」から任意のRに対する w_{opt} を直線より推定

2) 「 $w_{opt}\sim \gamma_{dmax}$ 」に示す関係式より γ_{dmax} を推定できる



4.2 混合土のコーン指数について

①混合比が一定条件では

- ・ 飽和度が大きいほど，コーン指数は低下する。
- ・ 飽和度が減少するとコーン指数は増加し，
 $S_r \doteq 60\%$ でピークを迎える。
- ・ さらに飽和度が減少するとコーン指数は低下する。

②飽和度が一定条件では，

- ・ 混合比が大きく，良質土に近いほどコーン指数は大きくなる。

③コーン指数に対する飽和度の影響は，非常に大きい。

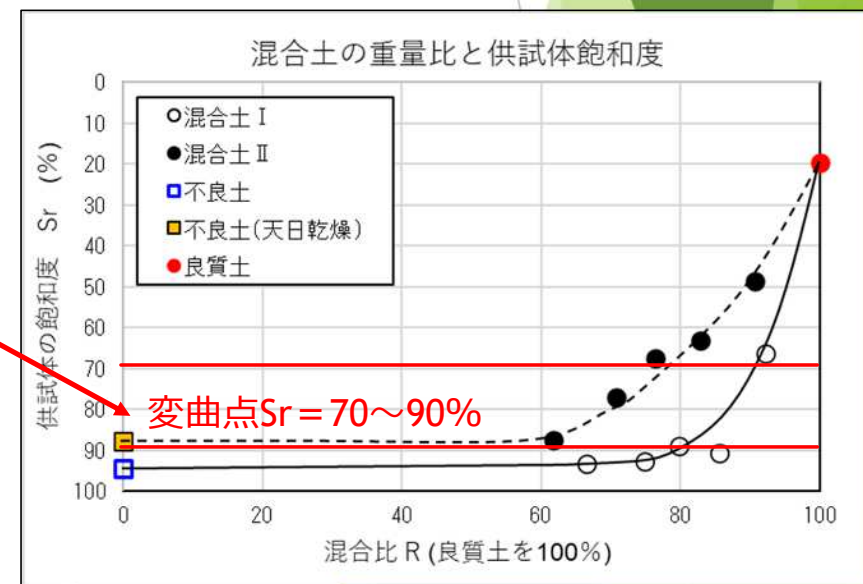
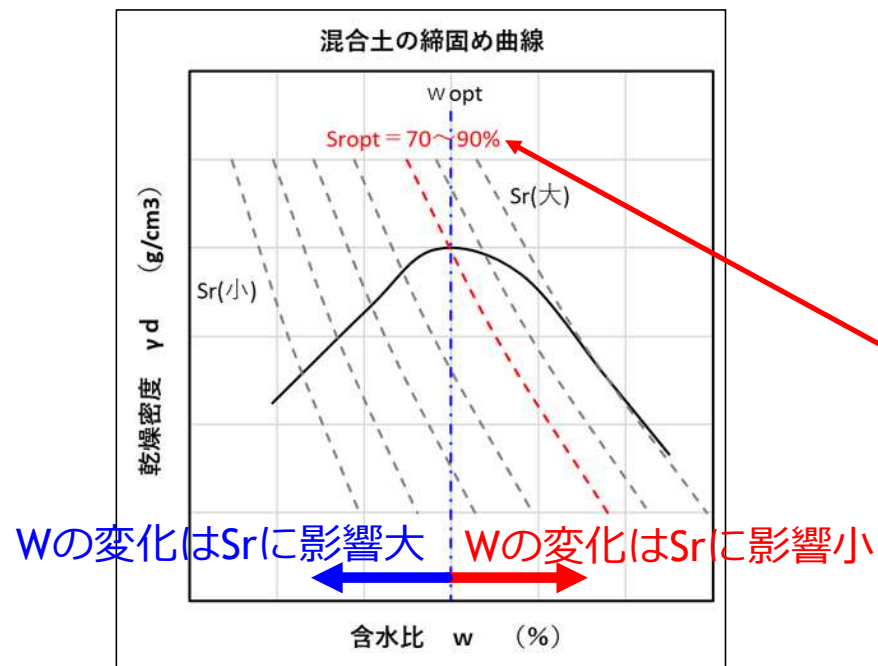
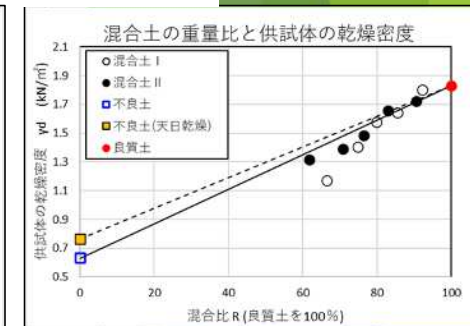
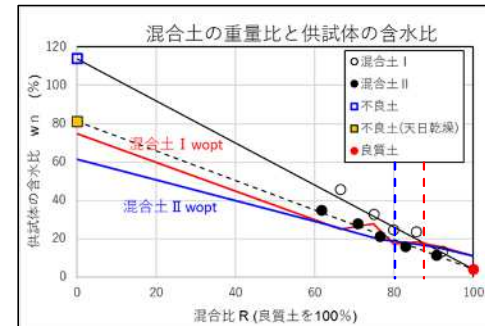
(例：良質土では， $S_r = 90 \rightarrow 60\%$ の変化で $q_c = 4,000 \rightarrow 12,000 \text{ kN/m}^2$)

(1) 試験供試体の作成方法と物理特性

- 母材を所定の割合で混合し、自然状態で締固めた。
- 締固めエネルギー(呼び名A法)は締固め試験(呼び名B法)と同じ。

試験供試体の物理特性

ほぼRに比例

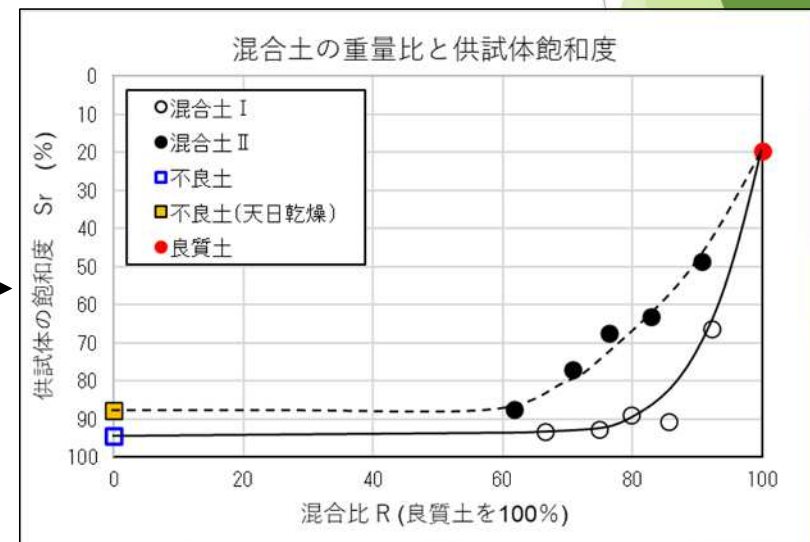
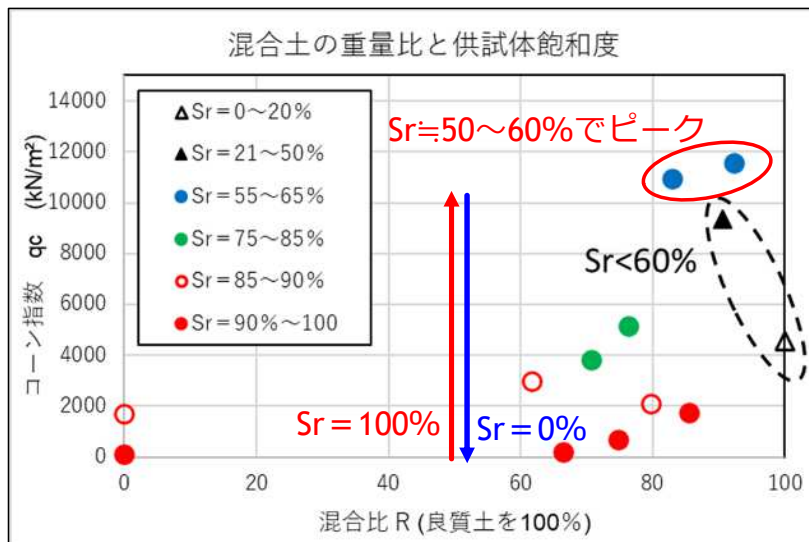


(2) コーン指数 q_c と混合比 R の関係

① S_r をパラメータにした コーン指数 q_c ～ 混合比 R の関係

q_c は、以下のような R と S_r の影響を受けることが判った。

- ・ S_r (一定) で q_c は R の増加 (不良土 $\Rightarrow$ 良質土) に伴い大きくなる。
- ・ R (一定) で, S_r の減少に伴い q_c は増加するが, $S_r \approx 50 \sim 60\%$ 付近をピークに低下する。



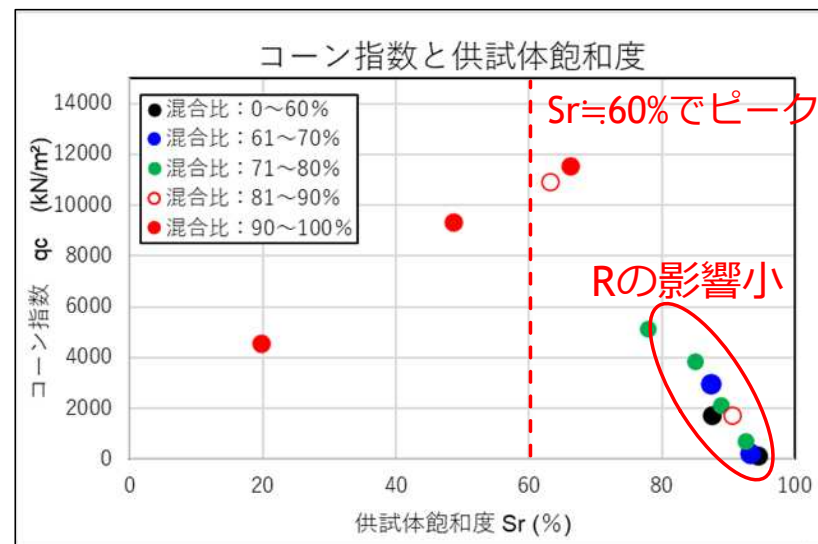
②混合比 R をパラメータにしたコーン指数 q_c ～飽和度 S_r の関係

q_c と S_r の関係から、以下のようなことが分かった。

- ・ q_c は、 S_r の影響が大きい。

$S_r > 80\%$ では、 R の影響はほとんど認められずほぼ一定の値となる。

- ・ q_c は、 $S_r \approx 60\%$ 辺りでピーク値となり、 S_r に対して上に凸の関係を示す



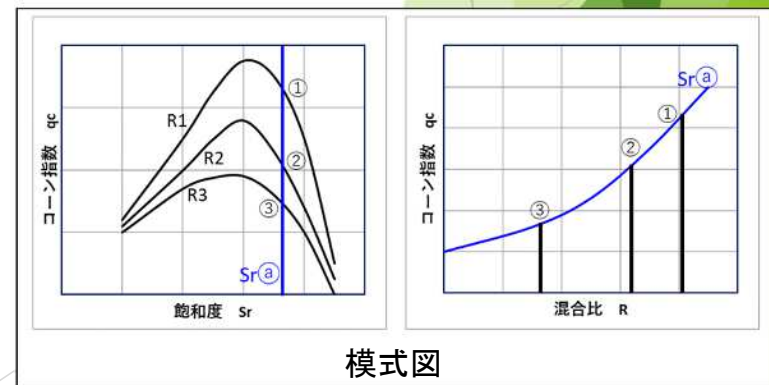
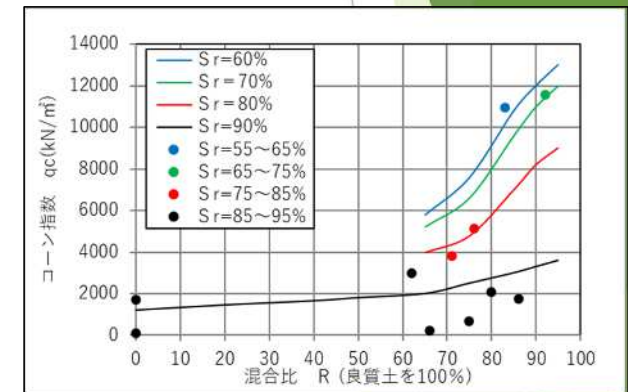
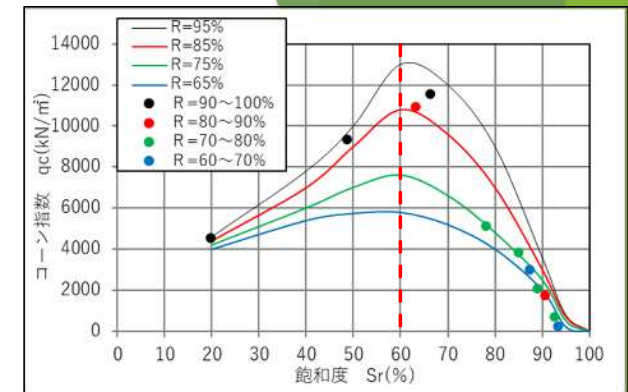
(3) 混合土の $q_c \sim S_r \sim R$ の関係

- ・ S_r が大きくなると q_c に対する R の影響はほとんどなくなる。
- ・ q_c がピークを示す飽和度は $S_r \doteq 60\%$ である。

以上のような推察から、

「 $R \sim q_c \sim S_r$ の関係」を推定した。

「 $R \sim q_c \sim S_r$ の関係」の (q_c , S_r , R) は一致しており、その関係は模式図に示す通りであり、バラツキがあるものの、実測値の傾向と一致する。



4.3 混合土の透水試験について

①混合比が一定条件では

- ・ 飽和度が小さいほど透水係数は大きくなる。
- ・ ただし $S_r = 70\%$ より小さくなると、透水係数はほぼ一定となる。

②飽和度が一定条件では

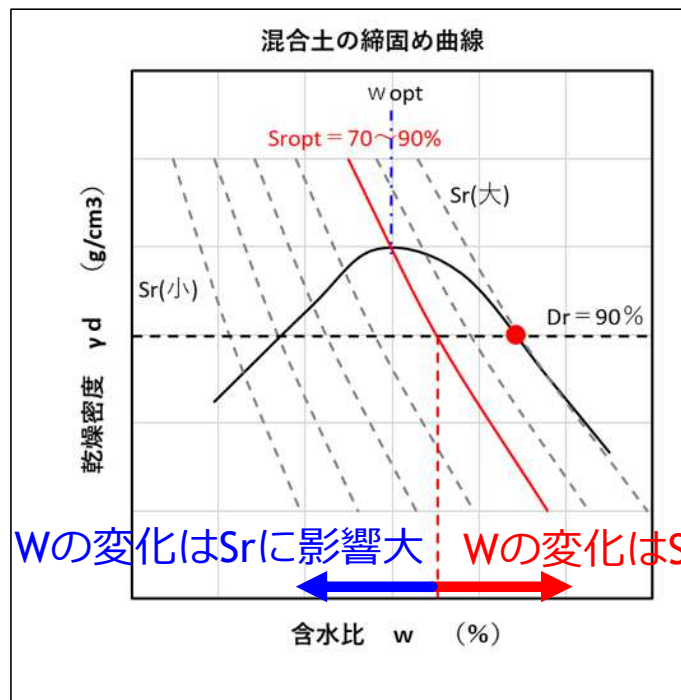
- ・ 混合比が大きく、良質土に近いほど透水係数は大きい。

③透水係数に対する飽和度の影響は非常に大きい。

(例：良質土では $S_r = 95 \rightarrow 70\%$ の変化で $\log k = 1.0E-6 \rightarrow 1.0E-4 \text{ m/s}$)

(1) 試験供試体の作成方法と物理特性

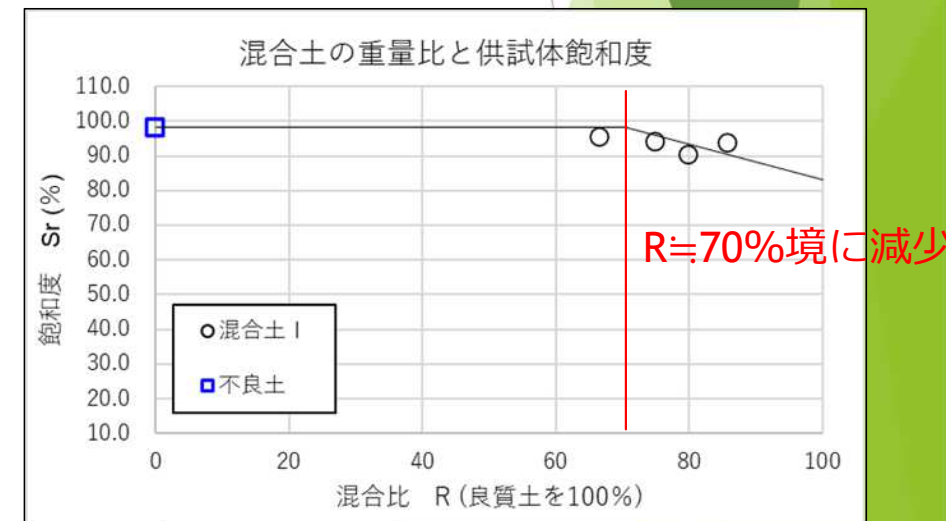
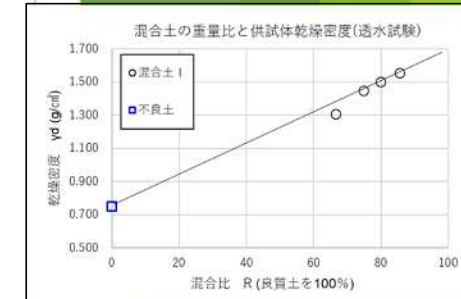
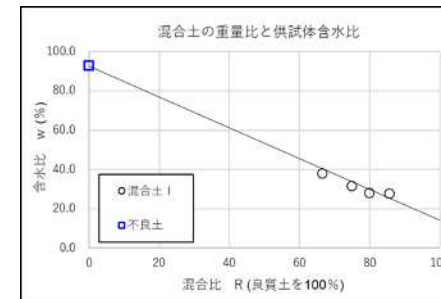
- 母材を所定の割合で混合し、
締固め度90%を目標に湿潤側の含水比に
調整し締め固めた。



Wの変化はSrに影響大 Wの変化はSrに影響小

試験供試体の物理特性

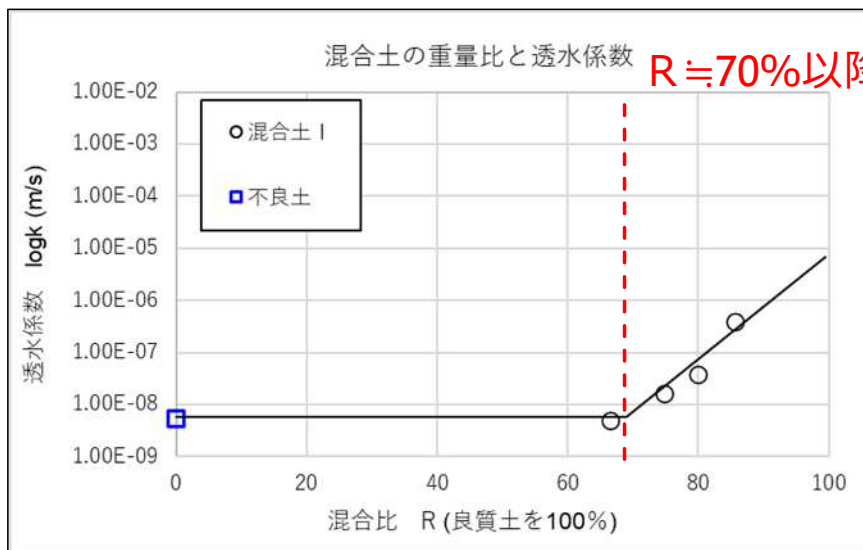
ほぼRに比例



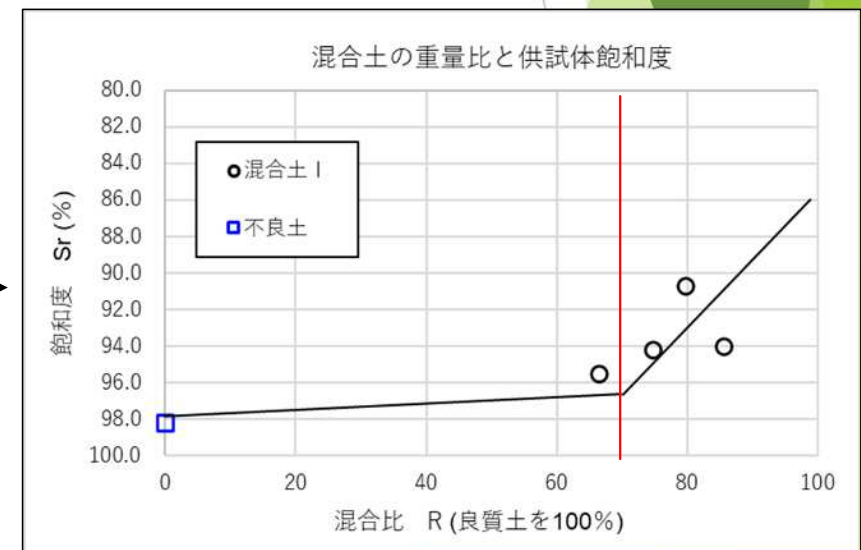
(2) 透水係数 $\log k$ と混合比 R

$\log k$ は, R に比例して増加する。

増加の状況は, $R \approx 70\%$ 付近までは, ほぼ一定,
それ以降透水係数 k は急増する傾向を示す。



形状が相似形

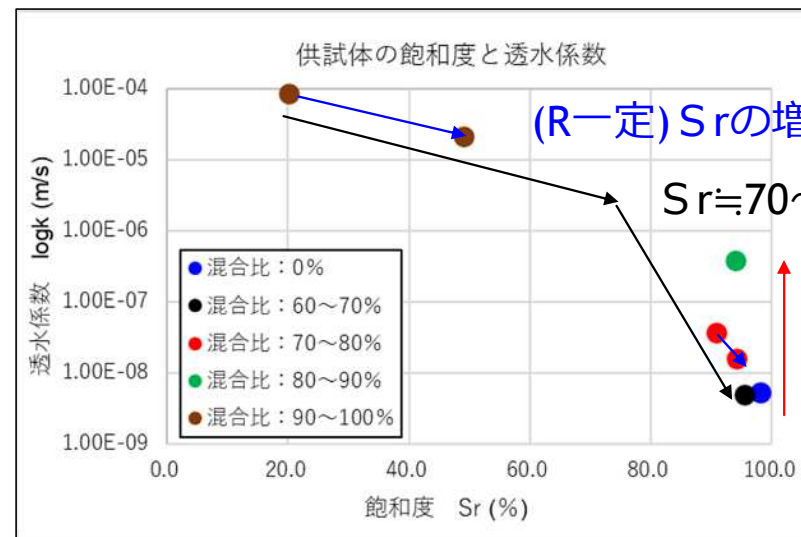


(3) 透水係数 $\log k$ ～ 飽和度 S_r ～ 混合比 R の関係

① 混合比 R をパラメータにした透水試験 $\log k$ ～ 飽和度 S_r の関係

$\log k$ は、以下のような R と S_r の影響を受けることが判る。

- ・ S_r (一定) で, $\log k$ は R の増加に伴い大きくなる。
- ・ R (一定) で S_r の増加に伴い $\log k$ は減少する。減少勾配は, $S_r \approx 70 \sim 80$ 付近で変化し, $S_r > 70 \sim 80\%$ では急激に $\log k$ は減少する。



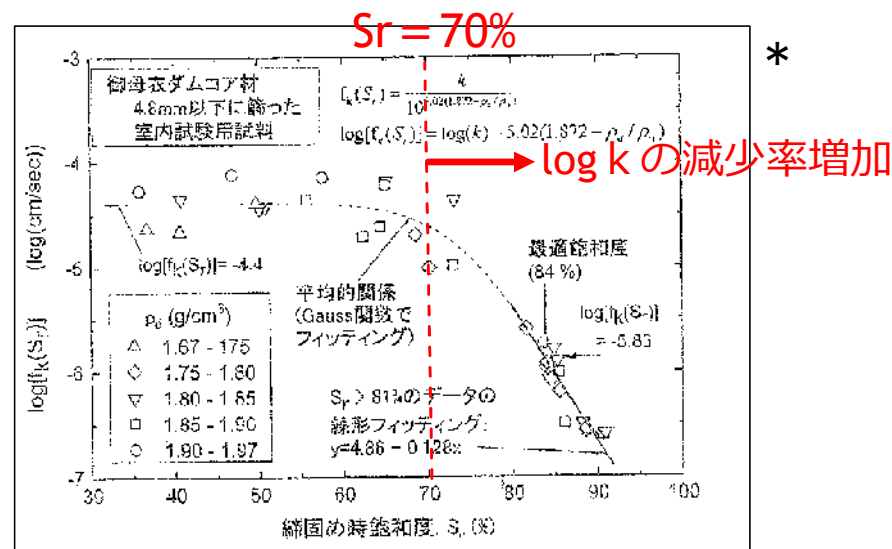
(R 一定) S_r の増加に伴い $\log k$ は減少

$S_r \approx 70 \sim 80$ で変化

(S_r 一定) $\log k$ は R の増加に伴い大きくなる

②一般土の $\log k \sim S_r$ 関係（形状について）

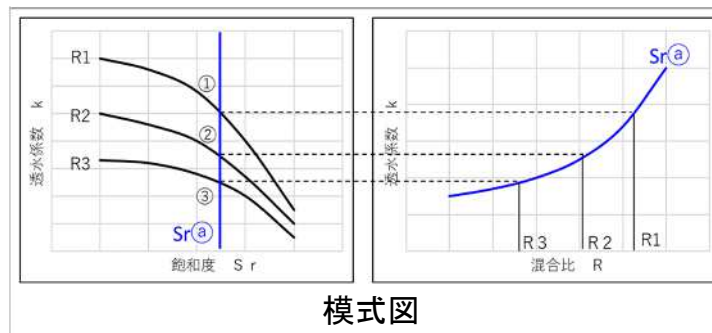
既往の文献から、 $\log K$ は S_r の増加と共に小さくなり、 S_r が70%を超えて増加すると $\log k$ の減少率が大きくなるような形状が想定される。



*出典：土の締固め管理-現状・新たな展開・展望-P65(総合土木研究所)

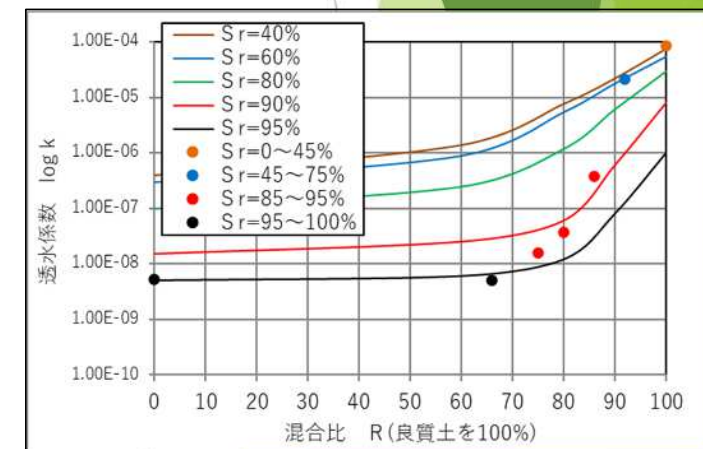
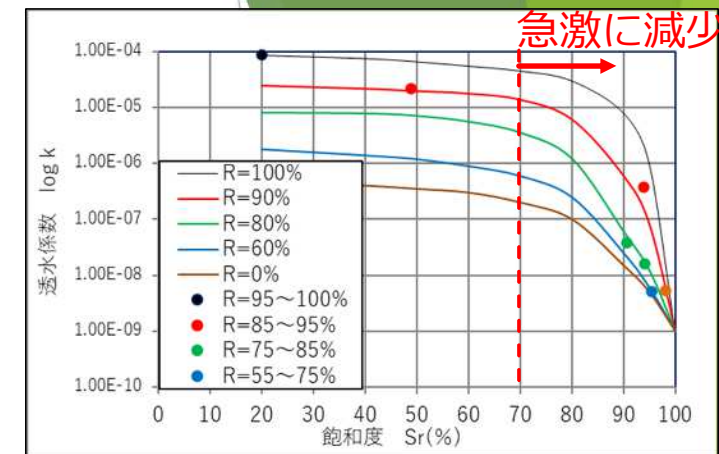
③混合土の $\log k \sim S_r \sim R$ の関係

$\log k$, S_r , R は一致しており, その関係は模式図の示す通りである。



ばらつきがあるものの, 実測値の傾向と一致する。

また, S_r の増加に伴って $\log k$ が急激に減少し始める飽和度は $S_r \doteq 70\%$ と既往の文献と一致する。



<謝辞>

データ提供を快諾していただいた静岡県沼津土木事務所
下水道課様にはこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

狩野川西部浄化センターの建設発生土の用途に応じた活
用のご検討をよろしくお願いいたします。

ご清聴ありがとうございました。