

# 既設盛土の現場水浸沈下試験に関する研究

2015. 8. 5

神戸大学大学院 工学研究科  
片岡 沙都紀

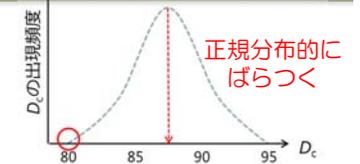
## 宅地地盤の品質評価方法の現状

□ 造成された宅地地盤の品質保証

① 品質管理 → 締固め管理

「全測定値における締固め度の平均値が  
(標準法で) 87%ないし90%」

※国土交通省「宅地防災マニュアルの解説」(2007)



正規分布的にばらつく

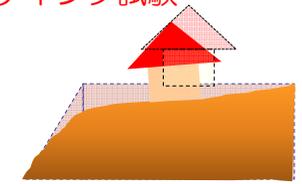
建築分野であるため厳密な締固め管理がなされていない  
※仲矢ら：(2006)

② 品質評価 → スウェーデン式サウンディング試験

N値, 支持力, 地盤の硬軟



※地盤工学会「地盤調査の方法と解説」(2004)



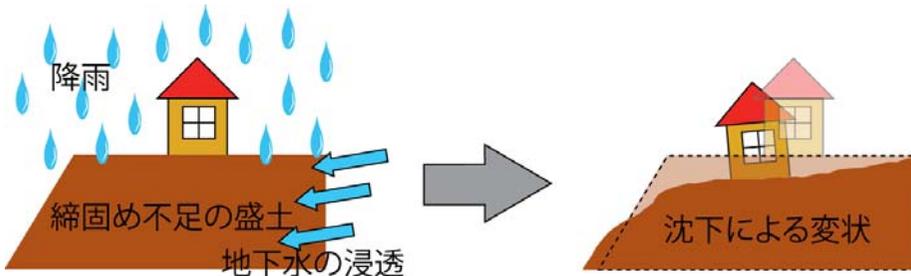
SWS試験単独による沈下の評価は難しい

## 水浸沈下の概念

水浸沈下とは…

締固め不足の宅地盛土に降雨や地下水が流入

→ 地盤沈下(水浸沈下)



- 細粒分の多い土は水浸沈下が生じやすい
- 砂礫が多い土に関する研究事例は少ない

## 本研究の目的と流れ

### 既設盛土における現場水浸沈下試験のガイドラインの提案

#### 室内水浸沈下試験

- 広範な粒度特性の試料における水浸沈下特性の解明  
→ 上載圧の変化, 供試体作製時の含水比の影響から検討

#### 小型地盤模型を用いた地盤内部への浸透の検討

- 小型模型を用いた地盤内部の浸透に関する視覚的な把握
- 浸透流解析を用いた小型模型試験の妥当性

→ 現場試験での水分計の設置深度の決定

#### 試験盛土における現場水浸沈下試験の実施

- 現場水浸沈下試験に関する試験規格の提案

#### 原位置水浸沈下試験のガイドラインの提案

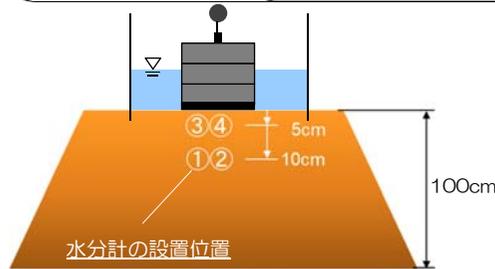
# 試験盛土における現場水浸沈下試験の実施



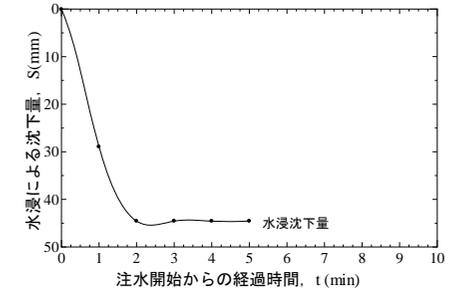
○ 現場試験での沈下の有無を判断⇒**密度の異なる盛土**を用意

<p><b>パターン1</b> 密度 小 (緩詰め)</p> <p>↓</p> <p><math>D_c=55.8\%</math> (<math>\rho_d=1.062\text{g/cm}^3</math>)</p>	<p><b>パターン2</b> 密度 大 (締め)</p> <p>↓</p> <p><math>D_c=77.5\%</math> (<math>\rho_d=1.475\text{g/cm}^3</math>)</p>
---	--

試験盛土の条件  
 高さ1m, 天端2m×2m  
 初期含水比:  $w_n=16\%$   
 上載圧: 20kPa (SWS試験用おもり100kg)  
 SWS試験, 現場密度試験の実施



# ゆる詰め盛土 ( $D_c=55.8\%$ )



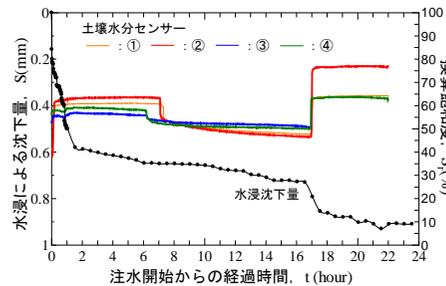
注水開始から2分強で崩壊

↓

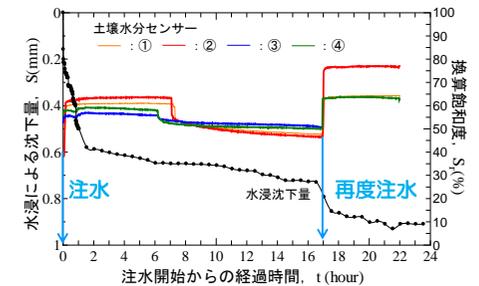
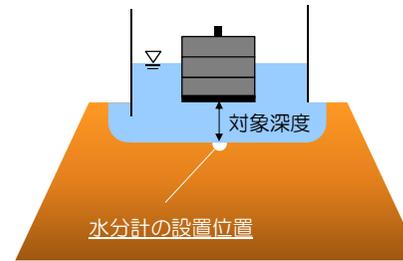
不良地盤



# 比較的ましな盛土 ( $D_c=77.5\%$ )



# 比較的ましな盛土 ( $D_c=77.5\%$ )



$D_c$ は低いが著しい沈下は生じなかった  
 ①盛土材が比較的湿潤側の含水比であった  
 ②上載圧が低い ( $\sigma_v=20\text{kPa}$ )

室内水浸試験と傾向が同じ

締固め度の違いにより沈下量に差異が生じた  
 盛土の性能を適切に評価

水分計の反応と同時に沈下が発生 ⇒ センサーの深度位置が水浸ひずみの対象深度として適切である

注水のたびに沈下が発生 ⇒ 評価する沈下量を決めておく必要がある ⇒ 水分計が反応した時間を境に試験を終了

## 原位置水浸沈下試験のガイドライン（案） （実盛土での実証実験を踏まえて）

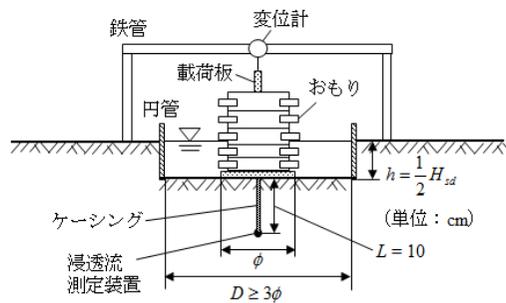
9

### ■ 試験位置図 【中部地方整備局管内】



上記位置図内、A地・B地にて、各1箇所ずつ試験実施

### ■ 現在検討している原位置水浸沈下試験-概要図



- ① 載荷板：上下面が平滑な金属板（ $\Phi 25\text{cm}$ の円形を標準）
- ② 載荷装置：所定の一定荷重を載荷できる装置・器具（ex.スライディング式カウティング 試験用おもり）
- ③ 注水用円管：床掘壁面を止水する板（※  $D$ （円管直径） $= \Phi$ （載荷板直径） $\times 3$ 倍以上）
- ④ 敷き砂：載荷重を地盤に均等に作用させるために地表面と載荷板の間に敷く砂（ex.珪砂）
- ⑤ 変位計：ダイヤルゲージ（分解能： $1/100\text{mm}$ 、最大 $20\text{mm}$ まで測定可）
- ⑥ 浸透流感知装置：注水した浸透流が地盤内の所定深度に到達したことを感知する装置（ex.水位計）

### ■ 原位置水浸沈下試験-試験方法①

- ① 試験場所の養生：盛土造成後から、可能な限り短期間で試験実施  
→ 試験実施前には天日乾燥  
※ 降雨・降雪による盛土内への水の浸入を防ぐため、ブルーシート等による養生
- ② 試験箇所の選定：住宅基礎端部で直下の盛土厚が最大となる地点、及び対角線上の2地点
- ③ 現場密度試験：②の各々の地点にて地盤の乾燥密度及び含水比を求める



## ■ 原位置水浸沈下試験-試験方法②

- ④試験箇所床掘：試験箇所において、以下の規格に準じて床掘り
- ・ (掘削幅：D) = (載荷板直径：Φ) × 3倍以上
  - ・ (掘削深さ：h) = (盛土造成時撤出厚：H<sub>sd</sub>) × 1/2程度  
【H<sub>sd</sub>がわかる場合】  
= 30cm程度【H<sub>sd</sub>が不明の場合】
- ⑤載荷板設置：試験箇所中央部に敷き砂 (t=1cm程度) をした後、載荷板を水平に設置



## ■ 原位置水浸沈下試験-試験方法③

- ⑥浸透流感知装置の設置：載荷板直下から鉛直方向に10cmである地点 (深度) に設置



- ⑦沈下量測定器具の設置：載荷板上部に変位計を設置し、荷重載荷後の地盤変位量を計測



塩ビ管 (Φ13mm) を  
地中に10cm打ち込み、  
管内に水位計を挿入

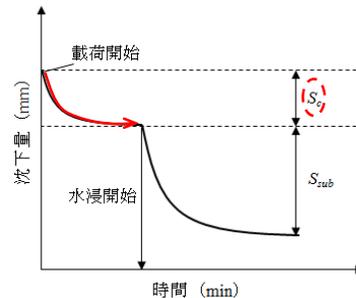
## ■ 原位置水浸沈下試験-試験方法④

- ⑧荷重の載荷：下式で求まる最終荷重になるまで、段階的に荷重を載荷

$$P = \gamma_s \times H \times A$$

- P: 最終荷重 (kN)
- $\gamma_s$ : 盛土の単位体積重量 (=18kN/m<sup>3</sup>)
- H: 盛土層厚 (m)
- A: 載荷板の断面積 (=  $\phi^2/4$ , ex.  $\phi=25\text{cm}$  のとき、 $A=0.0491\text{m}^2$ )

- ⑨圧縮沈下量 (S<sub>c</sub>) の測定：荷重載荷開始から最終荷重に到達後、沈下収束までの沈下量を記録  
砂礫質土 → 最終荷重に到達してから10分程度で打ち切り  
粘性土 → 3t法を適用して、打ち切り

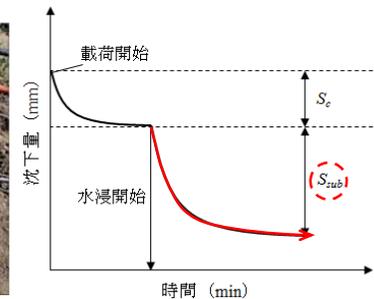


## ■ 原位置水浸沈下試験-試験方法⑤

- ⑨給水：床掘面から掘削高さ：hまで注水し、水位を一定に保持

- ⑩水浸沈下量 (S<sub>sub</sub>) の測定：注水開始から浸透流感知装置が反応するまでの沈下量を記録

- ⑪試験終了：⑩後、15分程度沈下量の推移を観察し、試験終了



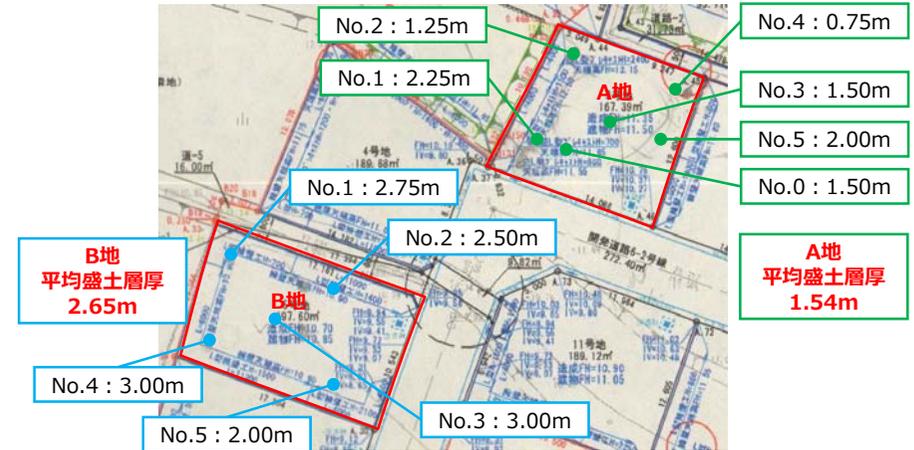
### ■ 試験結果① 【現場密度試験結果】

	A地	B地
$\omega$ : 含水比 (%)	20.0	20.8
$\rho_t$ : 湿潤密度 ( $g/cm^3$ )	1.54	1.45
$\rho_d$ : 乾燥密度 ( $g/cm^3$ )	1.28	1.20

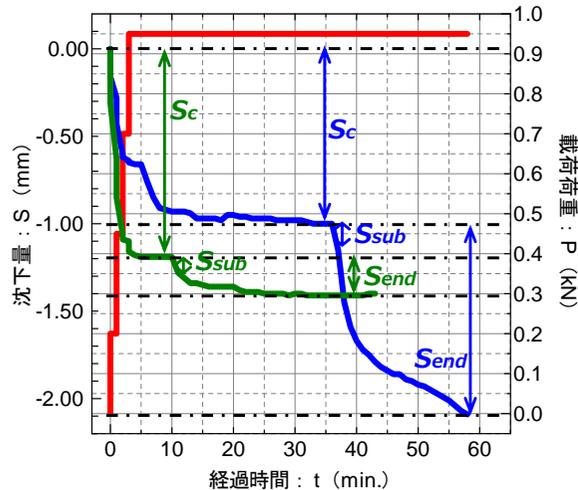
締固め試験実施時の最大乾燥密度 :  $\rho_{d\max} = 1.66g/cm^3$   
 → 対象宅地盛土の締固め度 = 77% (A地), 72% (B地)

### ■ 試験結果② 【平均盛土層厚の推定】

盛土厚の推定 → スウェーデン式サウンディング試験により、**基盤と盛土の境界を確認**



### ■ 試験結果③ 【沈下量-時間関係】



《段階荷重サイクル》  
 0.20kN → 0.45kN  
 → 0.70kN → 0.95kN  
 (1分毎に荷重)

【A地結果】  
 $S_c$ : 0.100cm  
 $S_{sub}$ : 0.015cm  
 ( $S_{end}$ : 0.109cm)

【B地結果】  
 $S_c$ : 0.119cm  
 $S_{sub}$ : 0.009cm  
 ( $S_{end}$ : 0.022cm)

— 荷重荷重 — A地沈下量 — B地沈下量

※  $S_{sub}$ が正確に計測できていない可能性があるため、 $S_{end}$ も考慮

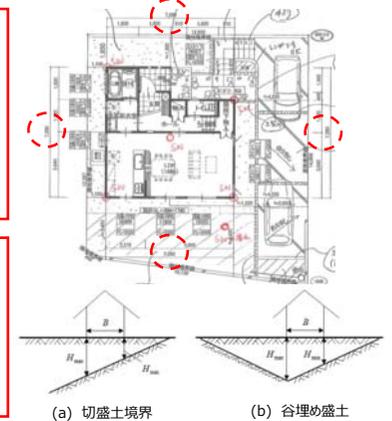
### ■ 試験結果④ 【住宅基盤としての良否の判断 (暫定)】

《沈下ひずみの数式》  

$$\epsilon_m = S_{sub} / L \times 100$$
 $\epsilon_m$ : 沈下ひずみ (%)  
 $S_{sub}$ : 水浸による沈下量 (cm)  
 $L$ : 注水の到達深度 (=10cm)

《沈下許容量の数式》  

$$S_a = B \times 5 / 1000$$
 $S_a$ : 許容沈下量 (cm)  
 $B$ : 基礎幅 (cm) ※ 右図より728cm



《住宅基盤性能の良否の指標》  

$$\epsilon_m \leq B / (H_{max} - H_{min}) \times 5 / 1000 \text{ かつ } \epsilon_m \leq 10 / H_{max}$$
 $H_{max}$ 及び $H_{min}$ : 最大及び最小盛土層厚 (cm)



地盤保証の適用が「建物の床レベルにおいて、3m以上離れている2点間を結ぶ直辺の水辺面に対する角度5/1000以上が確認された場合に保証適用」であることを考慮

$$S_a = B \times \frac{5}{1000}$$

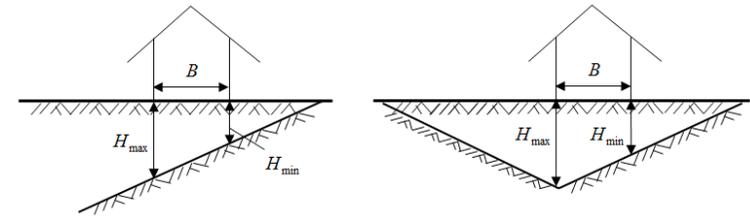
ここで、 $S_a$  : 許容沈下量 (cm)  
 $B$  : 基礎幅 (cm)

建物床の傾斜による不具合事象発生の基準

(い)	(ろ)	(は)
レベル	傾斜勾配	構造耐力上主要な部分に瑕疵が存する可能性
1	3/1000未満の勾配の傾斜	低い
2	3/1000以上6/1000未満勾配の傾斜	一定程度存する
3	6/1000以上の勾配の傾斜	高い



住宅品質確保促進法の定めている勾配傾斜は，2地点間の相対的な沈下量



(a) 切盛土境界

(b) 谷埋め盛土

盛土層厚の求め方

$$\epsilon_m \leq \frac{B}{H_{max} - H_{min}} \times \frac{5}{1000}$$

かつ  $\epsilon_m \leq 10/H_{max}$

不同沈下かつ許容沈下に対する指標であり，本原位置水浸沈下試験で求めた水浸沈下ひずみか式を満足しているかどうかで住宅地盤の性能の良否を判断

■ 試験結果④ 【住宅基礎としての性能良否の判断】



評価項目	A地	B地
① $\epsilon_m$ ( $S_{sub}$ 採用)	0.15	0.09
①' $\epsilon_m'$ ( $S_{end}$ 採用)	1.09	0.22
② B	728	728
③ $S_a$	3.64	3.64
④ $H_{max}$	225	300
⑤ $H_{min}$	75	200
⑥ $B / (H_{max} - H_{min}) \times 5 / 1000$	0.024	0.036
⑦ $10 / H_{max}$	0.044	0.033

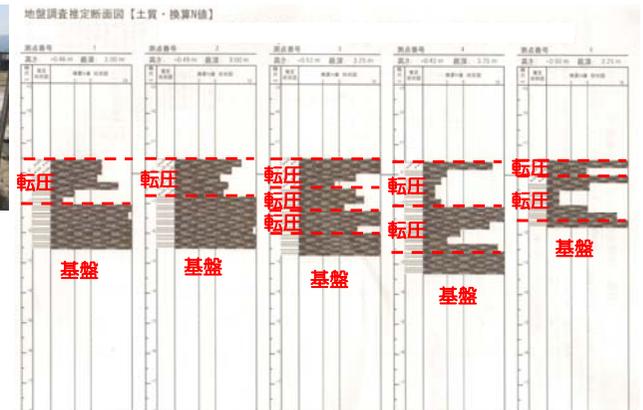
試験結果より、  
**A地・B地共に住宅基礎としての性能は否？**

住宅基礎としての性能良否【A地】							
①	≦	⑥	かつ	①	≦	⑦	NG
0.15	>	0.024		0.15	>	0.044	
①'	≦	⑥	かつ	①'	≦	⑦	NG
1.09	>	0.024		1.09	>	0.044	
住宅基礎としての性能良否【B地】							
①	≦	⑥	かつ	①	≦	⑦	NG
0.09	>	0.036		0.09	>	0.033	
①'	≦	⑥	かつ	①'	≦	⑦	NG
0.22	>	0.036		0.22	>	0.033	

■ 検討事項① 【盛土層厚の推定】



スウェーデン式サウンディング試験では正確に盛土と基礎の境界を把握できない？  
 → 別の方法が必要か？  
 ・簡易貫入試験を行った場合の結果と比較するとどうか？  
 ・盛土築造前の情報収集が必要？



盛土築造時の転圧にムラが生じている。  
 → 試験結果より転圧した層厚がわかる。  
 締固度が一定でない。

## ■ 検討事項② 【沈下量-時間関係】

注水開始から、それぞれ以下の時間で水位計が反応

- 3号地：注水開始から、**1分10秒**後に反応
- 5号地：注水開始から、**58秒**後に反応
  - あまりにも**短時間過ぎる** → 試験機解体後の水の排水状況よりも明らか
  - 塩ビ管と地山の間を注水が伝わってしまった
  - **水浸沈下量： $S_{sub}$ が正確に計測できていない** → 計測方法に課題



試験機解体直後



試験機解体2時間後

## 本研究に関する今後の課題として・・・

- ▶ 本ガイドライン（案）に従って試験が実施可能であるかどうか、誰が実施しても同じような結果が得られるかどうか、等の確認が必要
- ▶ 試行的に複数の現場でパイロット試験を実施し、その**結果をフィードバックして本案を改善**していくことが必要
- ▶ 実盛土において原位置水浸沈下試験および現場密度試験の両方を実施し、現場の密度と含水比に調整した試料を用いた**室内試験により、原位置水浸沈試験の適用性を検証**
- ▶ ハード部分の当面の課題は、**荷重装置の開発**、**経済的で信頼性の高い浸透水感知装置の研究開発**、等

## ■ 検討事項③ 【載荷荷重の不足】

当試験では計算で求まる最大積載荷重まで載荷できなかった。（0.95kN迄）

- 沈下量（沈下ひずみ）に影響を与えたか？
- ※ 3号地必要荷重： $P=18 \times 1.54 \times 0.0491=1.36\text{kN}$ の載荷が必要
- 5号地必要荷重： $P=18 \times 2.65 \times 0.0491=2.34\text{kN}$ の載荷が必要
  - **必要荷重まで載荷して再試験する必要がある。**

## ■ 検討事項④ 【性能評価式】

性能評価式に検討の余地があるか？

- 仮に1mmの水浸沈下が生じた場合、
  - 締固度：90%以上の土でもほとんど性能評価で良とならない。**
  - 宅地盛土の締固度の品質規定は80%～ → ほぼすべての盛土がOUT
- 『沈下：1mm』 → 現場サイドからすると、誤差ともとれてしまう絶対値
- **性能評価方法を再検討する必要がある。**

# ご清聴ありがとうございました