

東南アジア地域における 杭基礎への鋼管杭導入 に関する研究



東京理科大学 菊池喜昭

はじめに

- 今後の東南アジア地域での鋼管杭の普及への期待
 - これまではコンクリート杭が主流
 - 港湾エリアで鋼管杭を使うことのメリット
 - 大径, 長尺杭が容易に作製できる
 - コンクリートの腐食問題, 曲げに対する余裕
- これまでに, 東南アジア地域での杭の設計及び施工に関する状況の把握.
鋼管杭の利用を普及させるのに必要な技術的支援方法の検討
- 本発表の内容
 - 支持力推定法の国際比較
 - 開端鋼管杭の支持力メカニズムの検討
 - 東南アジア諸国における杭の支持力評価方法の調査

支持力推定法の国際比較

$$\text{支持力推定式 } R = A_p q_p + A_s q_s$$

杭の支持力の推定の考え方は単純で、世界共通

		港湾基準	ユーロコード7 (EC7)	米工兵隊 (USACE)
砂質土地盤	先端抵抗 q_p	300N	$N_{qs} \sigma'_{v0}$	$N_q \sigma'_{v0}$
	周面抵抗 q_s	2N	$K_s \sigma'_{v0} \tan \delta$	$K_s \sigma'_{v0} \tan \delta$
粘性土地盤	先端抵抗 q_p	$6c_u$	$9c_u + \sigma'_{v0}$	$9c_u$
	周面抵抗 q_s	c_u	αc_u	αc_u

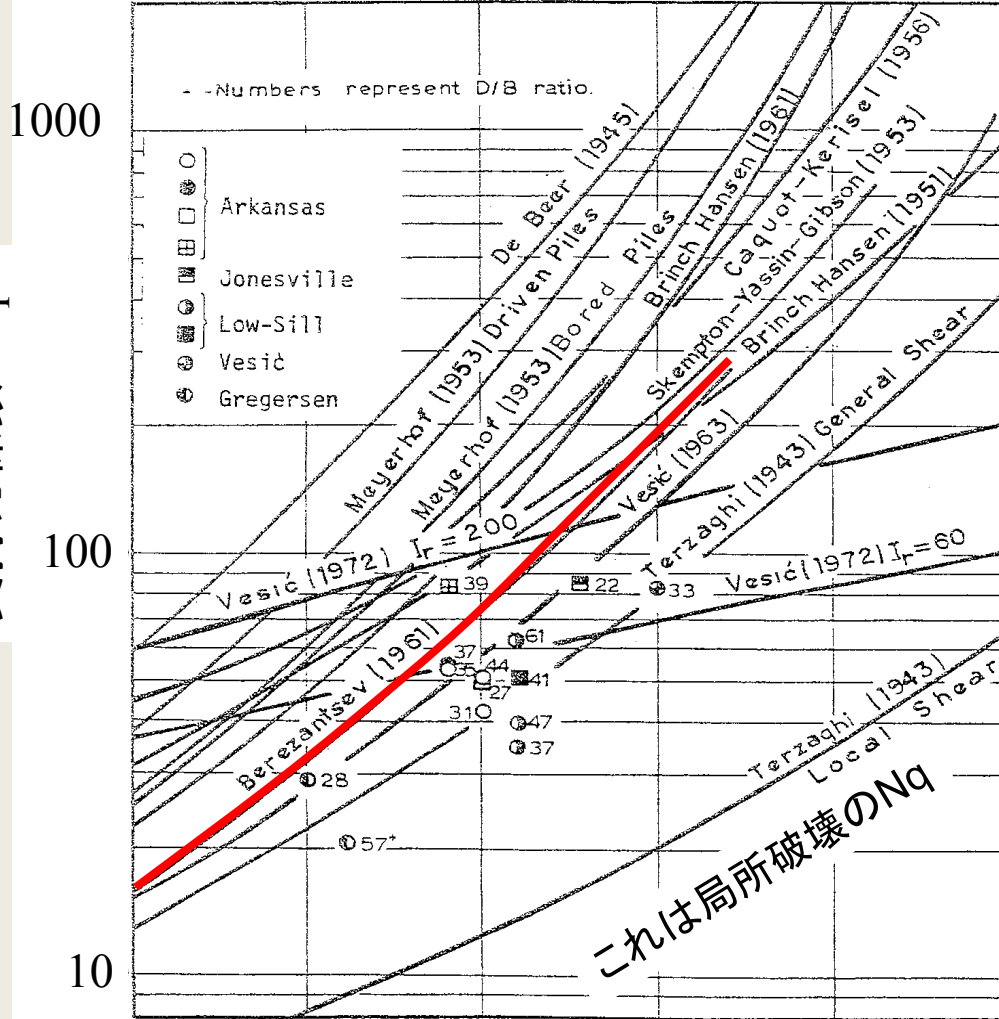
単位は kN/m^2

支持力係数の課題

せん断抵抗角(°)

30 40 50

支持力係数 N_q



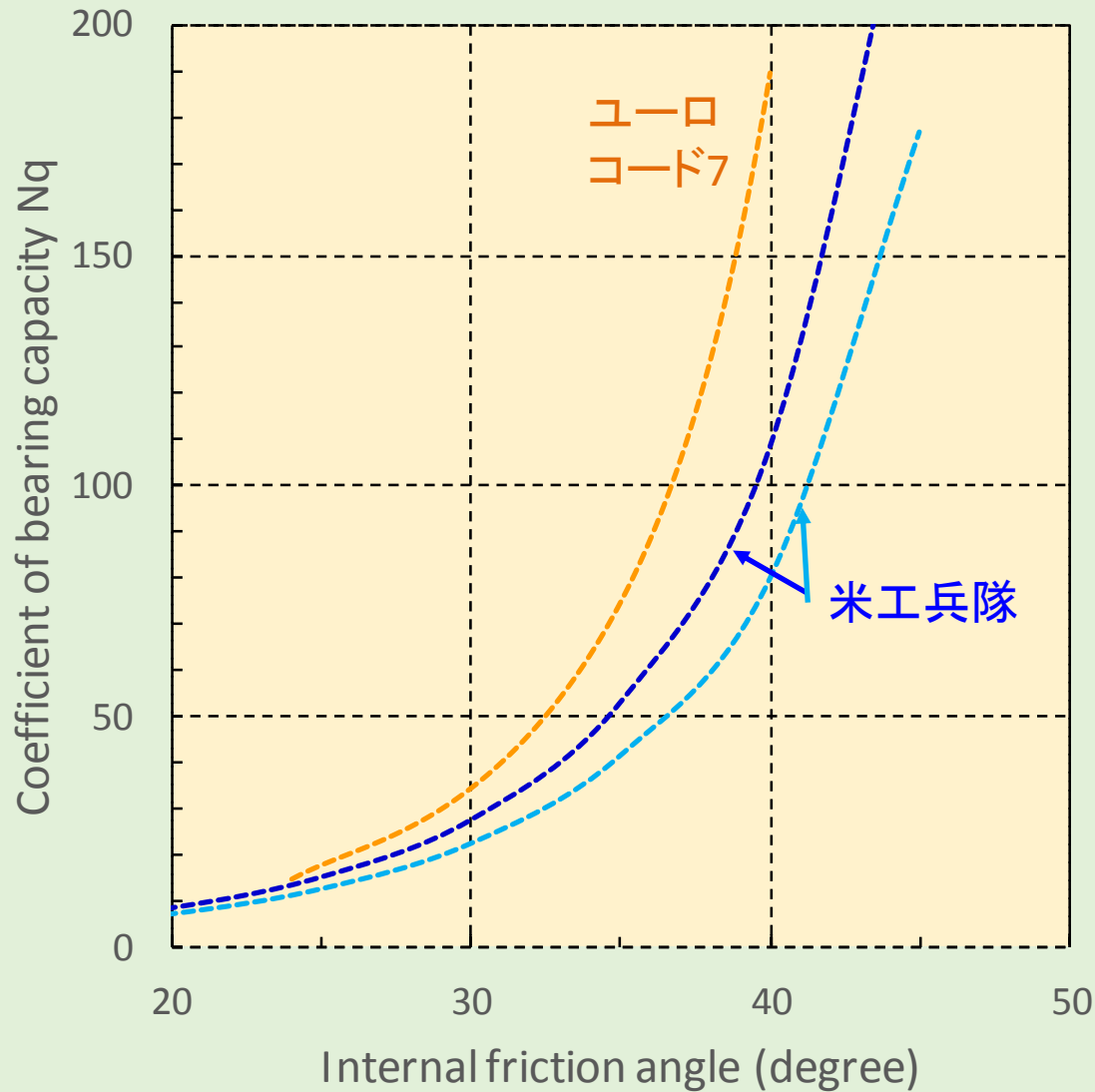
支持力係数を用いた
先端抵抗の推定式

$$R_{pk} = N_q \sigma'_{v0} A_p$$

N_q をどう求めるかが
重要

破壊メカニズムの仮定の
違いによって、得られる支
持力係数は大きく異なる。
ユーロコードの式は比較
的控えめ(N_q が小さめ)の
提案

支持力係数の課題(2)



ユーロコード7と米工兵隊は比較的同じような支持力係数 N_q ただし、
 $\phi=35^\circ$ で約1.6倍
 $\phi=40^\circ$ で約2.0倍異なる。

このほかの支持力推定方法

➤ 空洞拡張理論 (安福先生)

$$q_p = \frac{\sigma'_v}{1 - \sin\phi'_{cv}} \cdot \frac{3(1 + \sin\phi'_{cv})}{3 - \sin\phi'_{cv}} \cdot \frac{(1 + 2K_0)}{3} \times \left\{ \frac{G/\sigma'_v}{((1 + 2K_0)/3)\tan\phi'_{cv} + 50\left(\left(\frac{(1 + 2K_0)}{3}\right)\tan\phi'_{cv}\right)^{1.8} \cdot (G/\sigma'_v)^{-0.8}} \right\}^{\frac{4\sin\phi'_{cv}}{3(1 + \sin\phi'_{cv})}}$$

➤ Boltonの考え方の応用

- 支持力式としては、EC7と同じ式を用いるが、せん断抵抗角が拘束圧に依存することを考慮する

$$\phi' = \phi'_{cv} + 3I_R$$

ϕ'_{cv} : 限界状態のせん断抵抗角, I_R : 修正相対密度

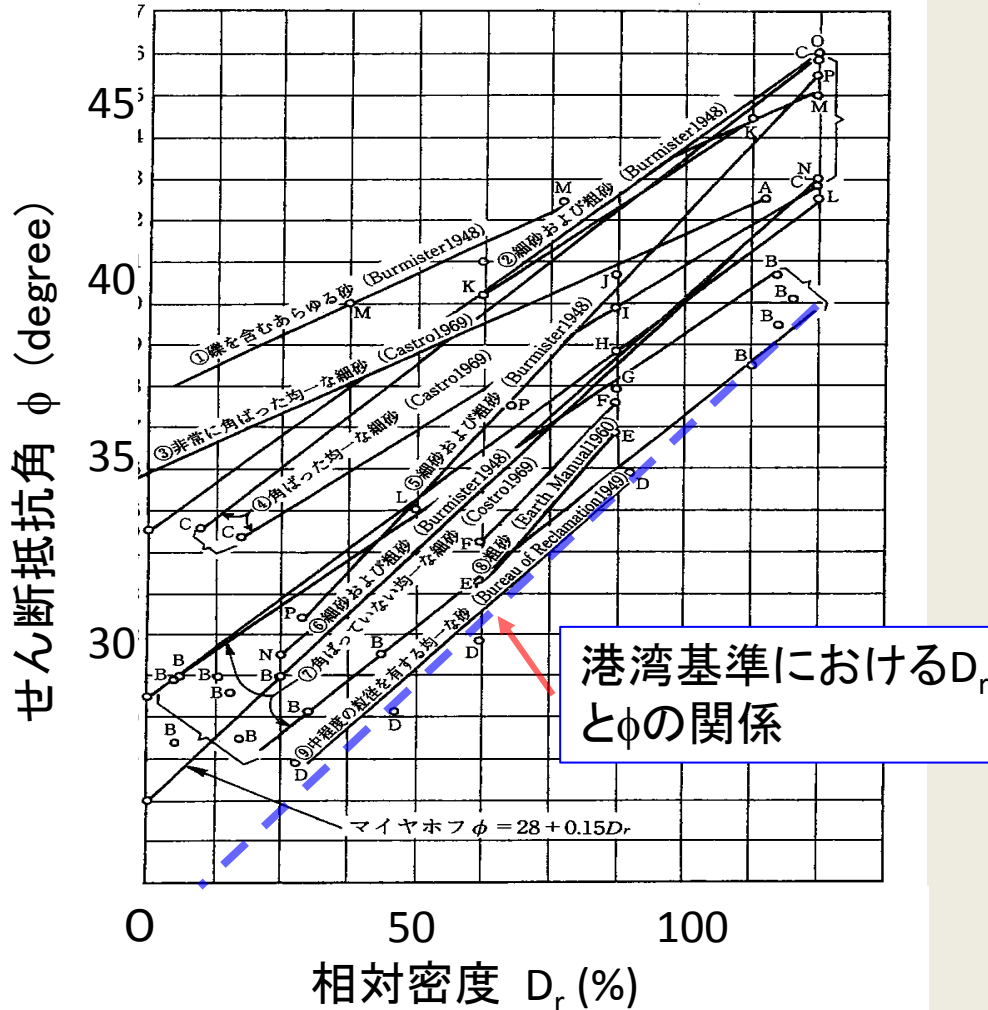
$$I_R = I_D (5.4 - \ln(p'/p_a)) - 1 \quad (p' > 150 \text{ kPaの場合})$$

$$I_R = 5 I_D - 1 \quad (p' < 150 \text{ kPaの場合})$$

せん断抵抗角の推定

➤ N値から ϕ をどう求めるか
 港湾基準の考え方に基づく

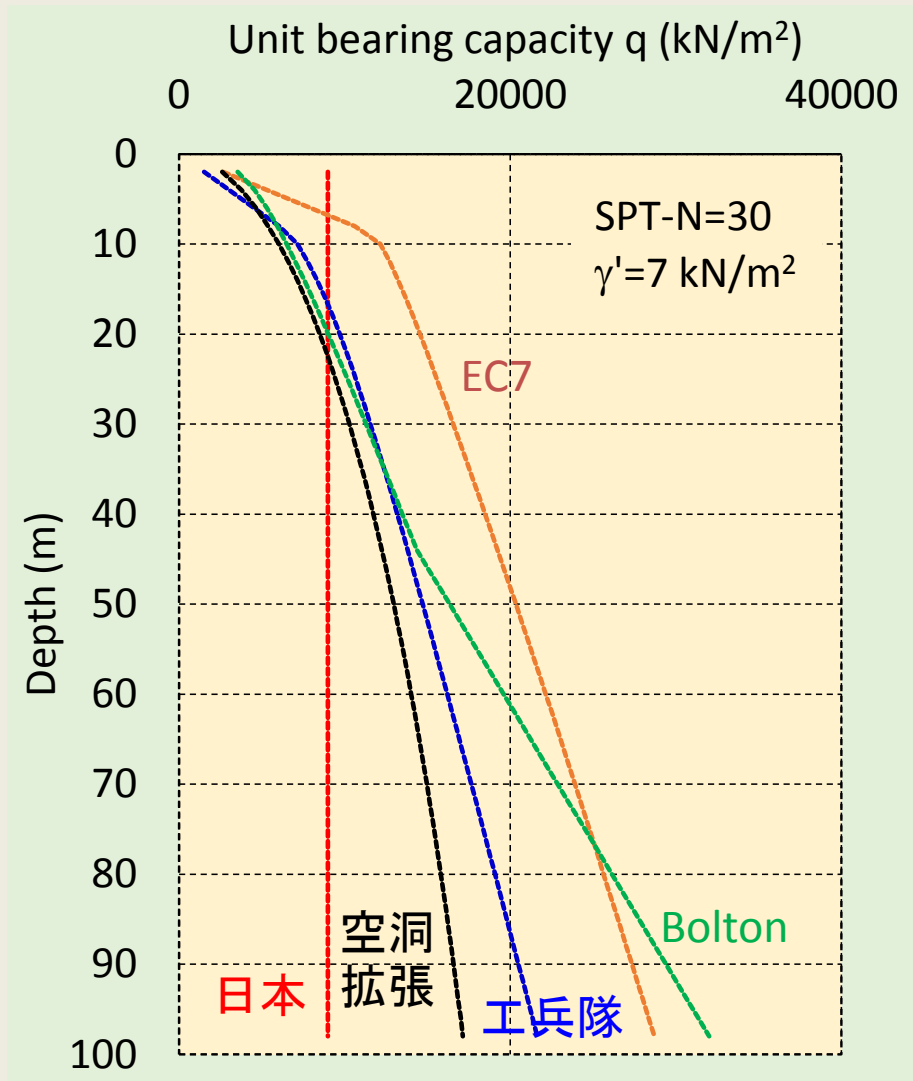
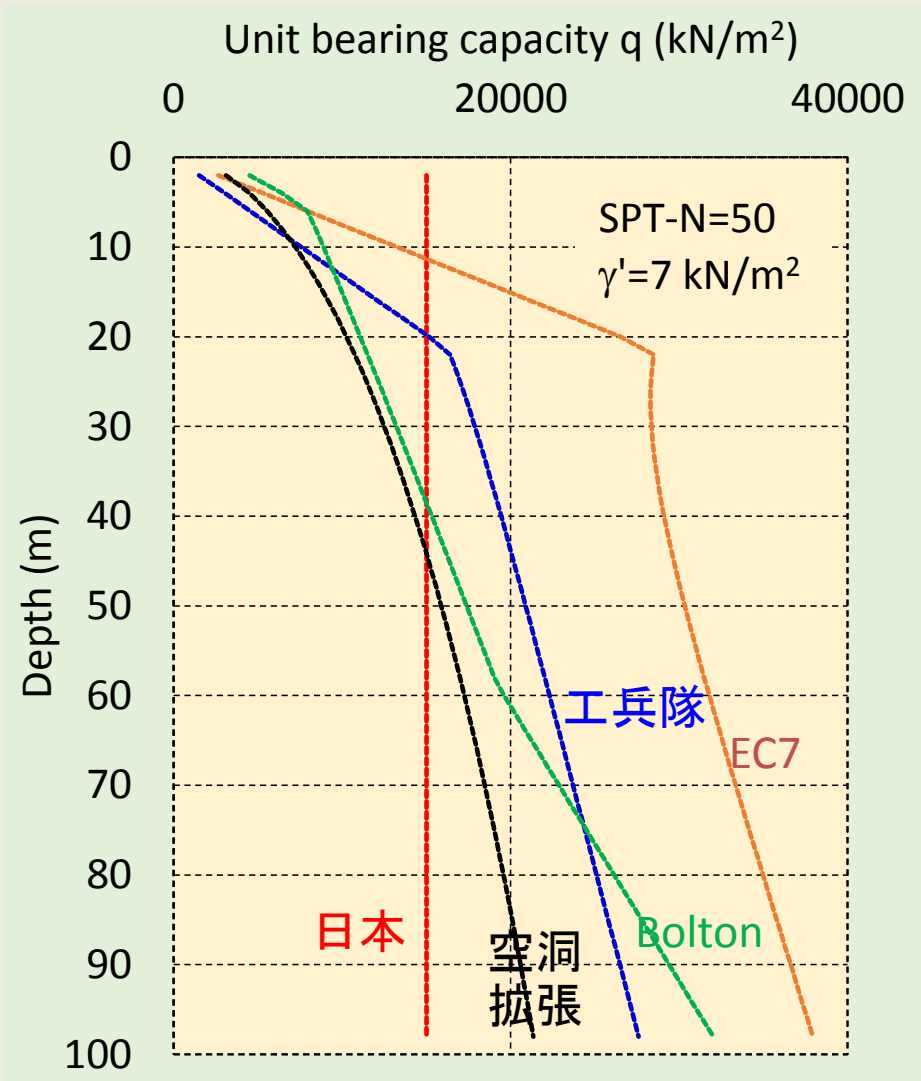
$$\phi = 25 + 0.15D_r \quad D_r = 21 \sqrt{\frac{100N}{\sigma'_{v0} + 70}}$$



大きなばらつきの中の下限值を設定している。

N値と ϕ の関係にこの式を用いれば、少なくともN値から ϕ を推定するときに ϕ を過小に評価できる。つまり、 N_q を過大評価することはない

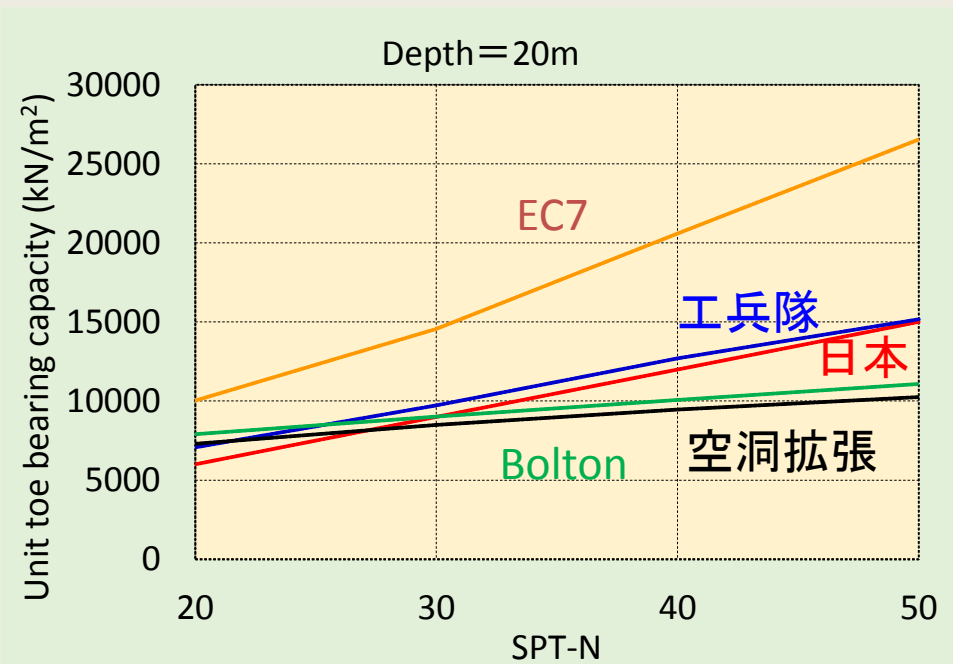
支持力式の比較



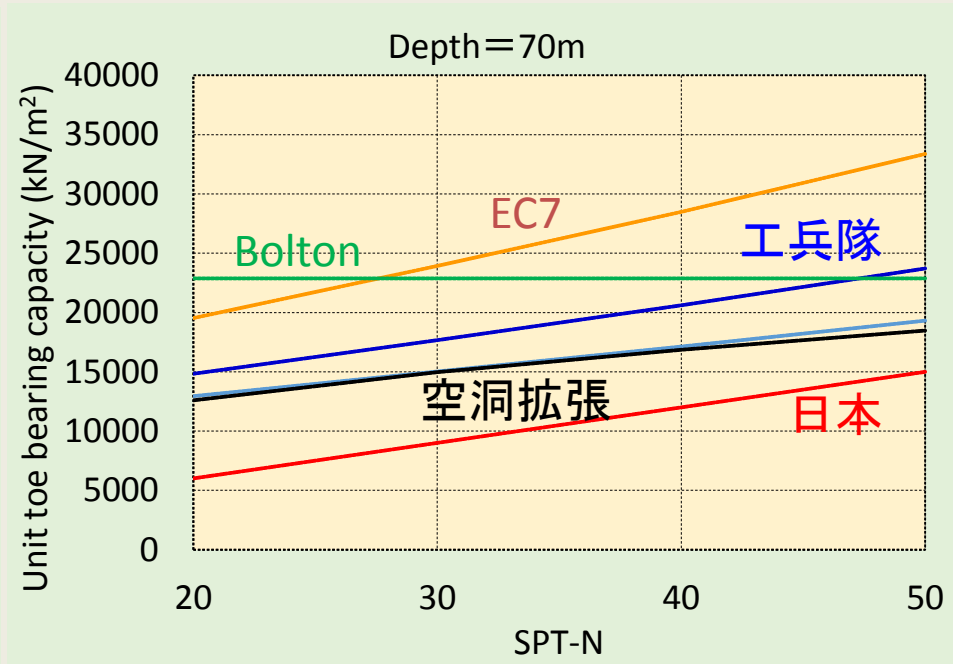
日本の基準の特徴

- N値の変化の影響が顕著に出る
- 根入れ深度40mを超えると支持力を過小評価する可能性がある。

同じ深度で比較



根入れ深度 20m



根入れ深度 70m

開端鋼管杭の支持力メカニズムの検討

- 港湾施設においても杭の支持力を期待する構造形式が増えてきている。
 - 横棧橋の幅の増大, PC桁の普及
 - 耐震性の向上からジャケット形式が増加
 - 常時は杭には鉛直荷重は作用しないが, いざというときに大きな鉛直荷重が作用する.
- 大口径開端杭の利用
 - 大口径鋼管杭の閉塞率
- 根入れの深い杭の利用
 - 根入れが深い場合の杭の支持力

杭の先端閉塞

◎閉塞率 η

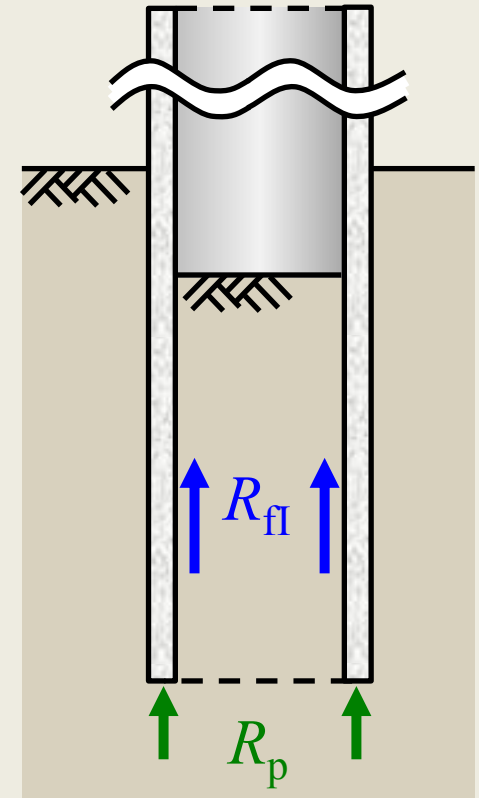
$$\eta = \frac{R_{\text{open}}}{R_{\text{close}}} = \frac{R_p + R_{\text{fl}}}{R_{\text{close}}}$$

R_{close} : 閉端杭の先端支持力

R_p : 杭下実質部分の先端抵抗

R_{fl} : 杭内周面に作用する抵抗

◎ 杭内周面に作用する抵抗 R_{fl}

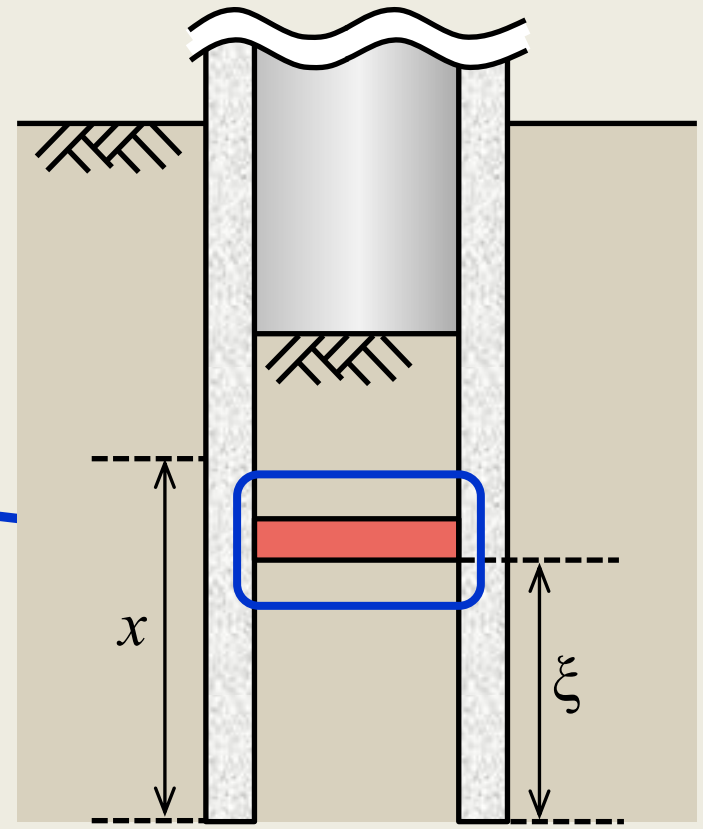
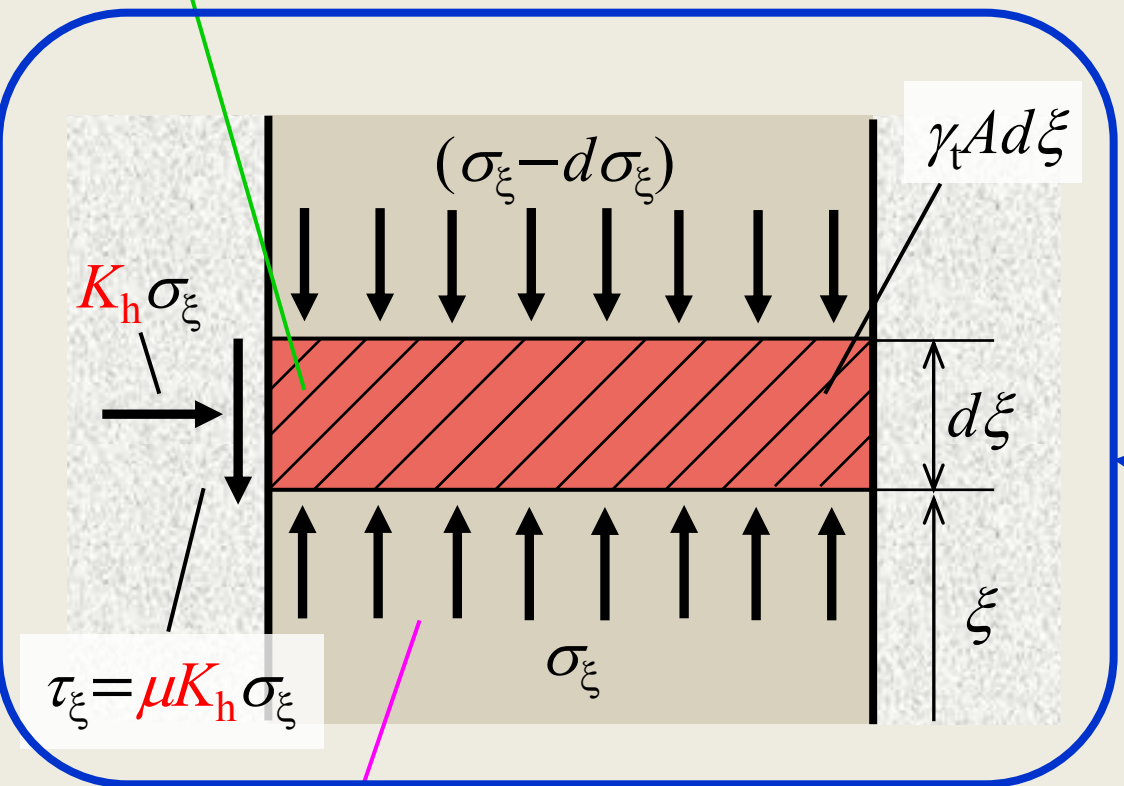


内周面摩擦の推定 - 杭内部の鉛直土圧 σ_v

◎杭内土の鉛直土圧 σ_v

・山原の仮定に基づいて求める

仮定①: 杭内土は剛な円盤となる



仮定②: 杭内土に作用する鉛直土圧は等分布荷重

内周面摩擦の推定 - 杭内部の鉛直土圧 σ_v

◎山原の仮定による杭内部の鉛直土圧分布 σ_v

$$\sigma_v = \left(\frac{R_{fl,z=i}}{A_{in}} + \frac{\gamma_t D_{in}}{4\mu K_h} \right) \exp\left(\frac{4\mu K_h}{D_{in}} (-x) \right) - \frac{\gamma_t D_{in}}{4\mu K_h} \dots (1)$$

実験結果

➡ $R_{fl,z=i}$: 貫入量 $z=i$ の地点での内周面摩擦力

A_{in} : 杭先端の中空部分の断面積

D_{in} : 杭先端部の内径

γ_t : 土の単位体積重量

x : 杭先端部からの距離

実験条件



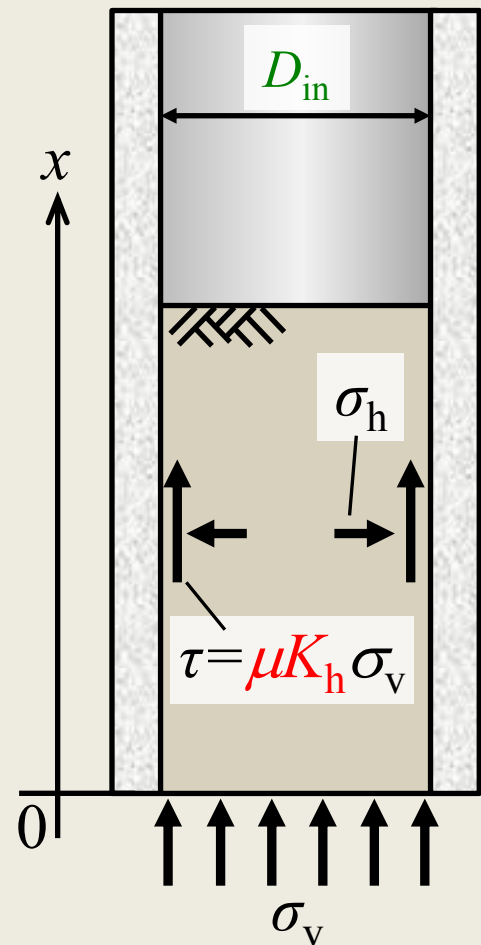
推定



μ : 摩擦係数

K_h : 土圧係数

様々な μK_h を仮定し, 式(1)に代入
 ↓
 杭内部の鉛直土圧分布を描く
 ↓
 適切な μK_h の推定



開端杭の支持力実験(内周面摩擦の発現挙動)

外径 50mmと101.6mmの模型杭
杭径 D と肉厚 t の比を変えて実験

地盤材料
乾燥砂

珪砂5号($\rho_s=2.66 \text{ g/cm}^3$, $D_{50}=0.59 \text{ mm}$)
 D_r を変えて実験(土のダイレータンシーが
杭の閉塞に及ぼす影響を確認するため)

静的貫入実験

◎測定項目

貫入抵抗 R , 貫入量 z , 杭内土長 h



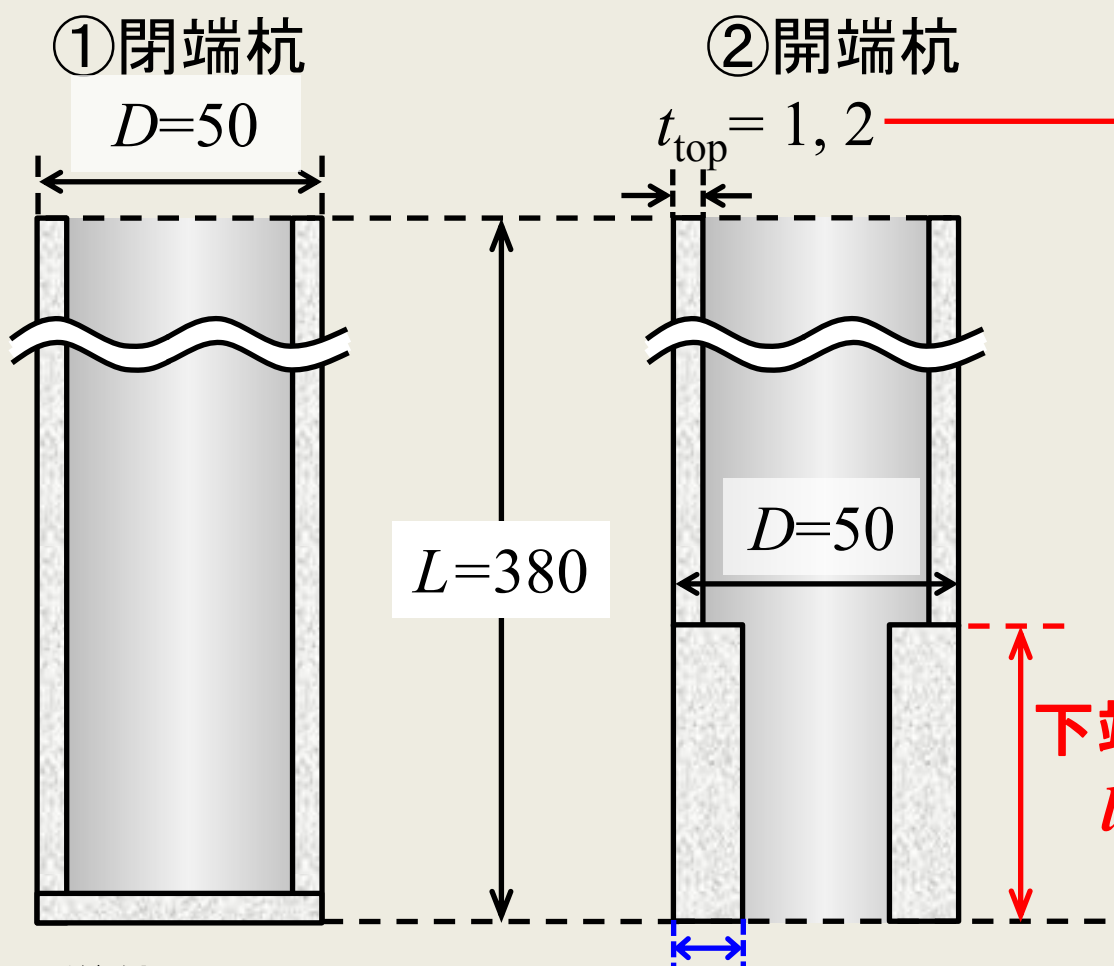
小型試験機



大型試験機

実験概要 - 模型杭

◎模型杭の形状および寸法 (杭外径50mm)



(単位: mm)

t よりも薄くする
↓
内周面摩擦力が作用しないようにする

内周面摩擦力の発現範囲を変える

下端部長さ
 $l = 10, 25, 50, 100, 380$ (寸胴)

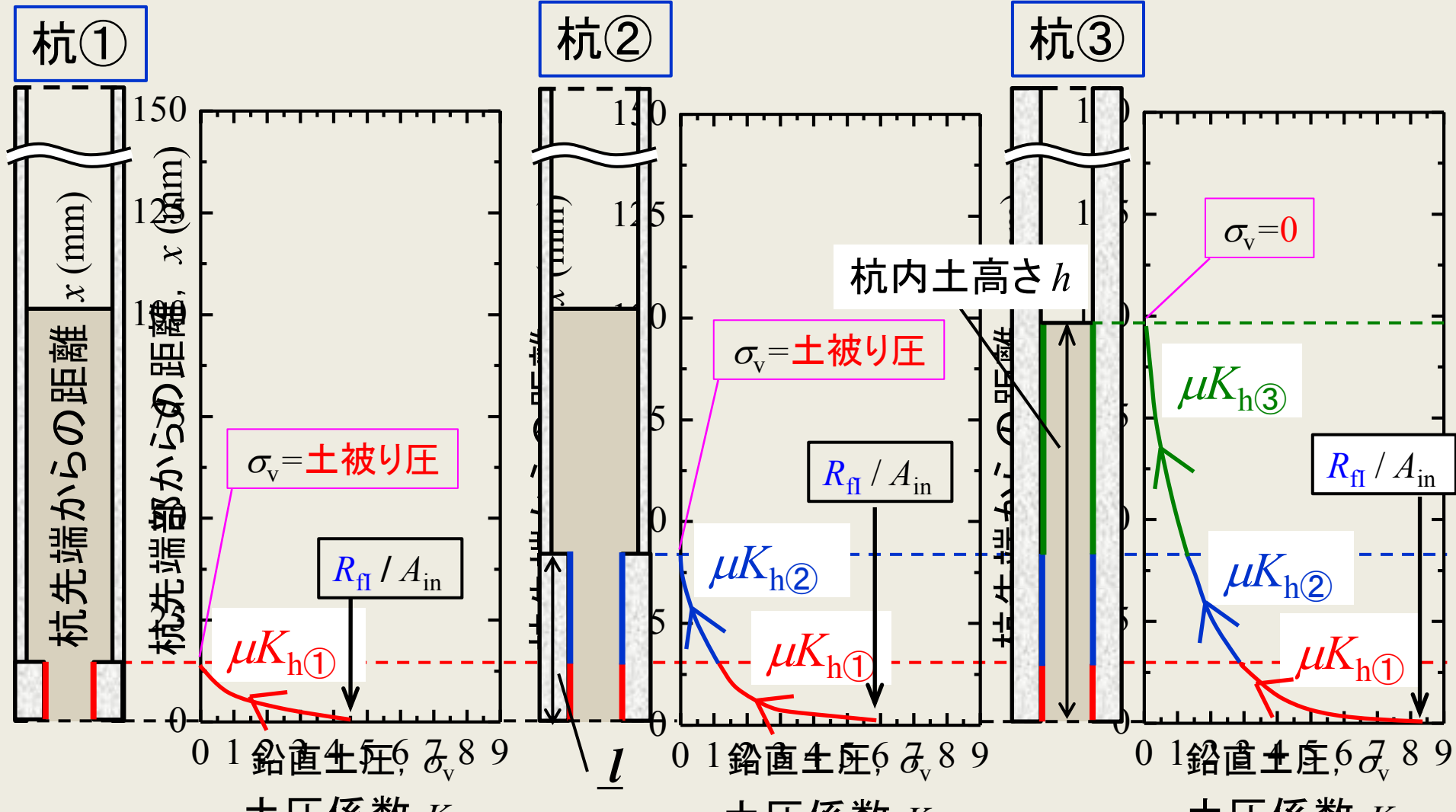
杭先端部の肉厚
 $t = 1, 2, 3, 4$

肉厚による違いを見る

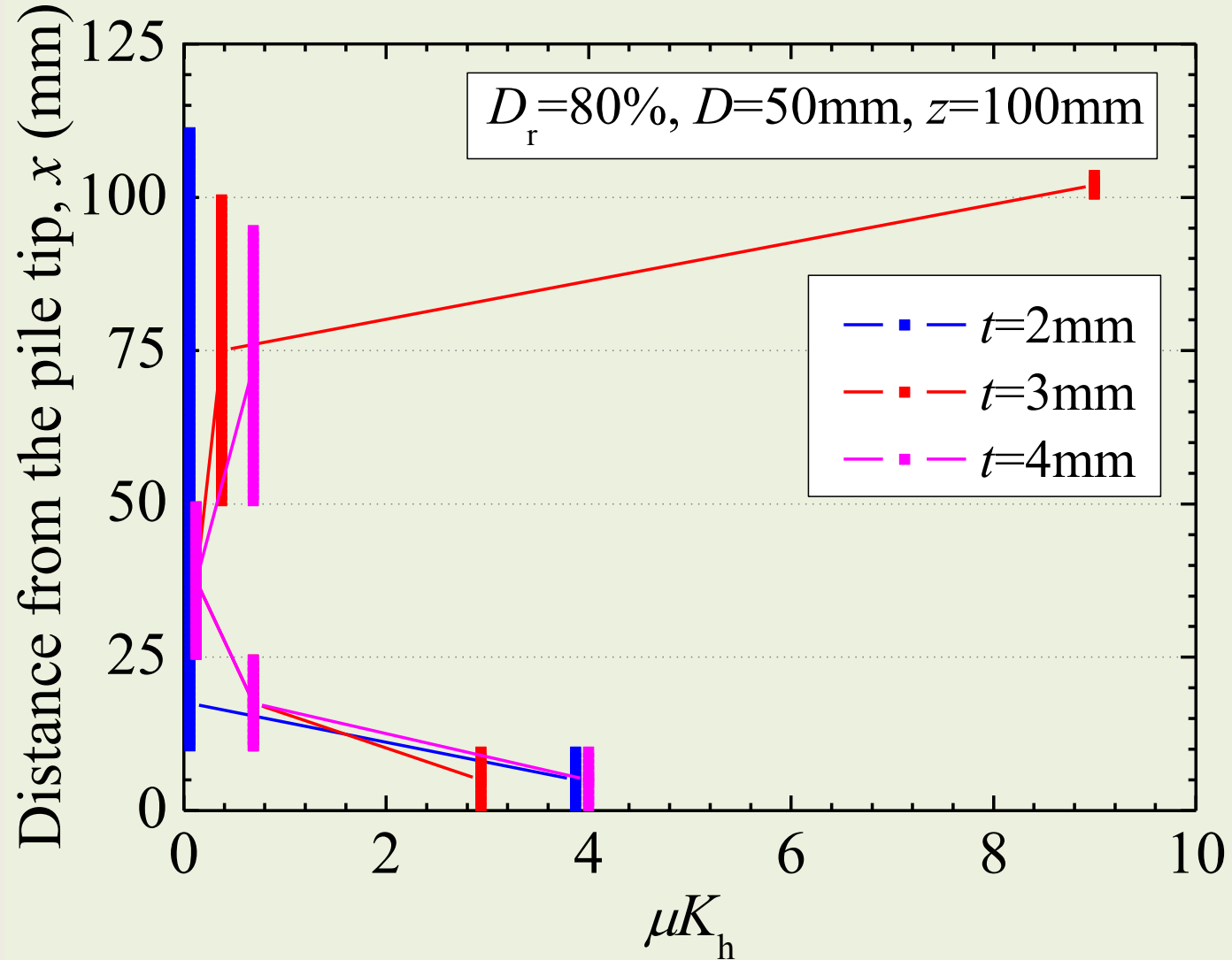
内周面摩擦の推定 - μK_h の推定方法

◎ μK_h の推定

- ・ μK_h は 杭軸方向に変化するものと仮定
- ・ 同じ貫入量において, l の短い杭から順に μK_h を推定

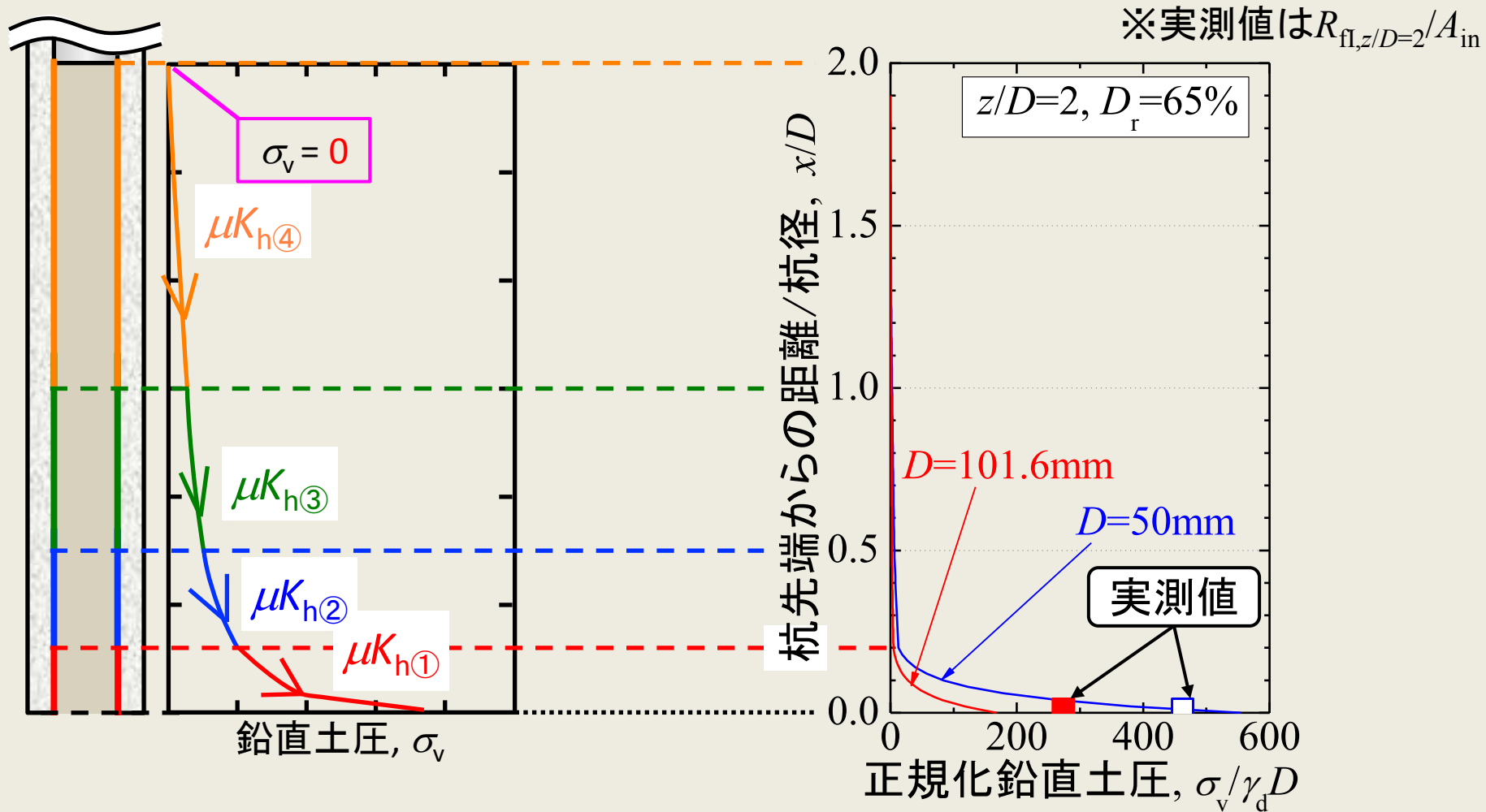


杭軸方向の μK_h の分布



杭内部の鉛直土圧 σ_v - 逆解析結果

◎ 推定した μK_h を用いた逆解析の結果



- 杭軸上方の μK_h について、絶対値は小さいが鉛直土圧分布に与える影響は大きい

この方法の問題点

- 肉厚が異なると支持力は異なるが、 μK_h が大きく異なるわけではない。
 - これは精度の問題なのか？
 - 大きな μK_h が得られている深度がある
 - 杭内土の高さが異なることで内周面摩擦の発現の程度が変化している
- 貫入による軸方向の μK_h の分布を仮定できたとしても、杭内土高さも推定できないと、精度の良い内周面摩擦力の推定ができない。

東南アジア諸国における杭の支持力評価方法の調査

- 港湾における鋼管杭の施工実績
 - すべて栈橋の事例
 - 杭の支持力算定に用いた式
 - BS(3例), 港湾基準(2例), 米国工兵隊(1例)

件番号	載荷試験実施の状況			地盤条件
	静的載荷試験	急速載荷試験	衝撃載荷試験	
1	○		◎	固い粘性土地盤
2			◎	良好な地盤
3		○	◎	良好な地盤
4	◎	◎	◎	粘土地盤
5	○		◎	軟弱地盤
6	○		◎	砂地盤
7	○		◎	砂地盤
8	○		◎	硬質粘土/軟岩

注)◎:複数回実施, ○:1回実施

設計と載荷試験の関係

- 地盤条件の違いによる試験の種類本数の違いはあまりない
- 試験は基本的に設計の確認のため
 - 試験結果によって設計を見直したのは1例のみ

施工管理と載荷試験の関係

- 施工管理に載荷試験が利用されている
 - ハイリーの式の補正のため
 - 施工着手時点で静的載荷試験と衝撃載荷試験を実施
 - それらとハイリーの式の相関をとり, 打ち止め管理式を補正
 - 全杭の20%について衝撃載荷試験を実施して支持力を確認する
 - この方法が標準的

港湾で推奨している載荷試験実施の判断基準

	施設の分類*1			工事規模*2			地盤の種類*3	
	普通	重要	特に重要	小規模	中規模	大規模	均一	複雑
衝撃載荷試験	△	◎	◎	△	◎	◎	△	○
静的試験 (又は急速 載荷試験)	—	○	◎	—	△	◎	—	○

注) —: 必要性低い, △: 必要に応じ実施, ○: 実施が望ましい, ◎: 実施必須

*1) 施設の重要度で分類

*2) 施設そのものの規模をさす

*3) 地盤の均質性や成層状況. 特に支持層の不陸の程度が問題となりやすい.

結論

- 欧米諸国と我が国の方法とで、砂質地盤の先端支持力の考え方が大きく異なる。
 - ユーロコードの方法は杭の先端支持力を過大評価する傾向
 - 我が国の基準は、根入れ深度が大きくなると他の基準に比べて小さな支持力を推定する
 - 各方法における安全性の余裕の見方も含めて、今後詳細を検討する必要がある。
- 杭の内周面摩擦は山原の考え方を適用して推定できる
 - 杭内側の土圧係数が杭軸方向に変化する
 - 杭内土の高さが杭の内周面摩擦にどのように影響しているか
- 東南アジア諸国における鋼杭の事例
 - 設計基準は欧米日のものが使われている
 - 設計の確認と施工管理のために載荷試験を組み合わせて実施
 - 今後は、設計、施工の詳細について議論を深めていく