

DS-4 杭の鉛直載荷試験基準改正の動向

地盤工学会基準部 地盤設計・施工委員会
WG6杭の鉛直載荷試験基準改訂WG

座長: 菊池 喜昭 (WGリーダー, 東京理科大学, 沿岸技術研究センター)
副座長: 西岡 英俊 (WG幹事長, 中央大学)

本DSの進め方

- 13:00~13:25 WG活動状況報告, 改正点説明
- 13:25~14:00 研究発表5件(1件7分)
- 14:00~14:30 全体討議(研究発表への質疑応答含む)

改正目的

国際規格との整合性を高めるとともに、
実務において今まで以上に鉛直載荷試験を活用して
杭の設計・施工が合理化されるようにする

→2017年度の改訂検討WGを経て, 2018年度に改訂WGを設置

対象基準

1. 杭の押込み試験方法 (JGS 1811)
2. 杭の先端載荷試験方法 (JGS 1812)
3. 杭の引抜き試験方法 (JGS 1813)
4. 杭の鉛直交番載荷試験方法 (JGS 1814)
5. 杭の急速載荷試験方法 (JGS 1815)
6. 杭の衝撃載荷試験方法 (JGS 1816)

2024年度 改訂WGメンバー

会務	氏名	所属先
WGリーダー	菊池 喜昭	東京理科大学, 沿岸技術研究センター
WG顧問	青木 一三三	株式会社レールウェイエンジニアリング
WG顧問	岡原 美知夫	一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会
WG顧問	桑原 文夫	パイルフォーラム株式会社
WG幹事長	西岡 英俊	中央大学
WG幹事	稻積 一訓	株式会社大林組
WG幹事	小椋 仁志	一般社団法人 基礎構造研究会
WG幹事	亀井 秀一	株式会社地盤試験所
WG幹事	小梅 慎平	ジャパンパイル株式会社
WG幹事	中里 彰人	システム計測株式会社
WG幹事	西村 真二	株式会社シーズエンジニアリング
WG幹事	渡邊 康司	愛知工業大学
WGメンバー	新井 洋	国立研究開発法人建築研究所
WGメンバー	柏 尚稔	大阪大学
WGメンバー	桐山 貴俊	清水建設株式会社
WGメンバー	末政 直晃	東京都市大学
WGメンバー	澤石 正道	日本製鉄株式会社
WGメンバー	富澤 幸一	北武コンサルタント株式会社
WGメンバー	堀越 研一	成和コンサルタント株式会社
WGメンバー	松本 樹典	金沢大学名誉教授
WGメンバー	矢島 淳二	東急建設株式会社
WGメンバー	横山 雅樹	三谷セキサン株式会社

検討・手続き状況

時期	状況
2018年度	改訂WG設置
2019年度	さいたま大会DS開催
2022年8月～10月末	杭の押込み試験方法(JGS 1811) 改正案公示
2024年7月～9月末	杭の押込み試験方法(JGS 1811) 改正2次案公示 杭の引抜き試験方法(JGS 1813) 改正案公示 杭の急速載荷試験方法(JGS 1815) 改正案公示

現在, 残り3基準の改正原案を幹事会にて審議中

※6年半でのWG活動状況

WG委員会:延べ7回(他にメール審議1回)

WG幹事会:延べ48回

WG検討内容の研究発表会投稿件数:計10件

公示中の3基準

The image shows a collage of browser screenshots from the website of the Jiban Engineering Society (公益社団法人地盤工学会). The main focus is on the 'Standards' (基準部) section, which is highlighted with a white arrow. The website header includes navigation links for '学会概要' (Society Overview), '入会案内' (Joining Information), '行事・活動' (Activities), '刊行物' (Publications), '会員ページ' (Member Page), and 'お問い合わせ' (Contact Us). A search bar is also present.

The 'Standards' section lists various standards, including '地盤工学関係規格' (Geotechnical Engineering Standards), 'ISO国内委員会' (ISO Domestic Committee), '地盤工学表記法委員会' (Geotechnical Engineering Notation Method Committee), '室内試験規格・基準' (Indoor Test Standards/Standards), '地盤調査規格・基準' (Geotechnical Investigation Standards/Standards), '地盤設計・施工基準' (Geotechnical Design/Construction Standards), '技能試験実施委員会' (Skill Test Implementation Committee), and 'JIS原案作成委員会' (JIS Original Drafting Committee).

The 'お知らせ' (Notice) section features a prominent announcement: '地盤設計・施工関係基準の改正について（地盤工学会誌2024年7月号公示）' (Regarding the Revision of Design and Construction Standards (Announced in the July 2024 Issue of the Journal of Geotechnical Engineering Society)). Below this, a table lists the specific standards being revised:

基準番号	基準名	詳細
JGS 1811	杭の押込み試験方法	PDF
JGS 1813	杭の引抜き試験方法	PDF
JGS 1815	杭の急速載荷試験方法	PDF

公示中の3基準の主な改正内容

- 国際規格への対応
- 第I限界抵抗力の見直し
- 試験杭と反力杭の間隔の規定の緩和
- 急速載荷試験におけるCase法の導入

本DSにて重点的に討議

詳細は学会誌公示記事(2022年8月号, 2024年7月号)参照

第1限界抵抗力の見直し

- 従来の第1限界抵抗力は「log P-log S 曲線に現れる明瞭な折れ点」との定義であった。
- 載荷方式との関係が不明確であり、2002年改正時に導入された連続載荷方式が活用されない要因とも考えられた。

そこで、従来の第1限界抵抗力を、

多サイクル方式の試験結果から判定する

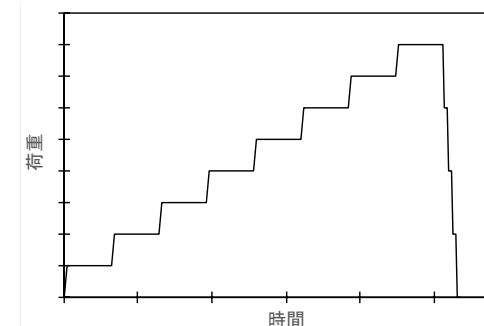
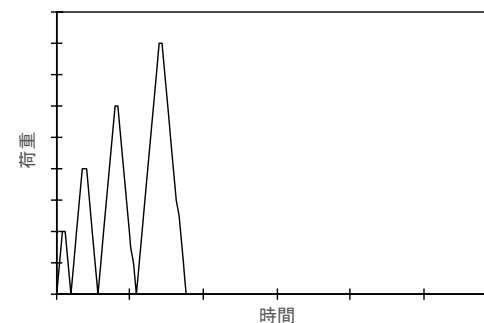
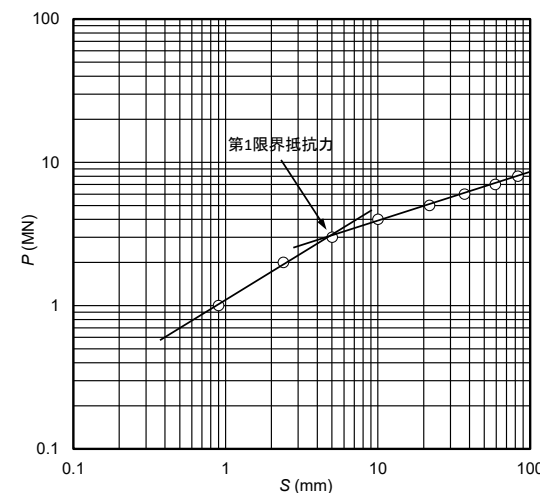
「第1限界抵抗力(残留変位)」と

段階載荷方式の荷重保持時の試験結果から判定する

「第1限界抵抗力(クリープ)」

に分離することとした。

この後、渡邊幹事、亀井幹事から別途詳細を説明



この後の発表件名と討議の進め方

委員会報告 (~13:25)

発表者	件名
渡邊 康司※(愛知工業大学)	第1限界抵抗力(残留変位)について
亀井 秀一※(地盤試験所)	第1限界抵抗力(クリープ)について

研究発表 (7分×5件=35分, ~14:00)

戸田 行紀(技研製作所)	第1限界抵抗力の新たな判定法の回転切削圧入杭への適用
小椋 仁志※(基礎構造研究会)	杭の引抜き試験においてひずみ測定値から軸力を算定する際の問題点とその検討
亀井 秀一※(地盤試験所)	現場試験結果に基づく軟クッション重錘落下方式の急速載荷試験における動的効果の傾向
西村 真二※(シズエンジニアリング)	杭の衝撃載荷試験における載荷時間についての一考察
塩崎 禎郎(鋼管杭・鋼矢板技術協会)	測定用ヤットコを用いた鋼管杭の打止め管理に関する実海域実験

14:00~14:10
 討議①(約10分)
 第1限界抵抗力について

14:10~14:20
 討議②(約10分)
 研究発表4件について

14:20~14:30
 討議③(約10分)
 :他の改正項目も含めた全体

※WG幹事

杭の鉛直抵抗力特性 第一限界抵抗力(残留変位)

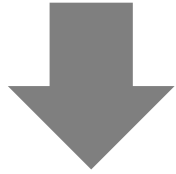
杭の鉛直載荷試験基準改訂WG
愛知工業大学 国際会員 渡邊康司

※渡邊ほか: 杭の押し込み試験で得られる鉛直支持力特性に関する新たな代表指標値の検討、第56回地盤工学研究発表会、12-8-3-07、2021.

はじめに

杭の押し込み試験:

杭頭に押し込み方向の静的荷重を加える載荷試験



- ・各荷重に対する試験杭の変位量
- ・杭先端および杭周面における抵抗特性

杭の押し込み試験方法:

“杭の鉛直載荷試験方法・同解説” (JGS1811-2002)

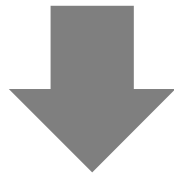
JGS杭の鉛直載荷試験基準改訂WG

(グループリーダー: 菊池喜明東京理科大学教授)

はじめに

西岡ほか：杭の鉛直載荷試験基準における限界抵抗力の考え方，第54回地盤工学研究発表会，pp. 913-914，2019.

- ・ 現行基準における限界抵抗力の考え方
- ・ 海外基準 (ISO 22477-1, ASTM D1143M-07) における限界抵抗力の考え方



現行基準：限界抵抗力の評価に関する課題を整理

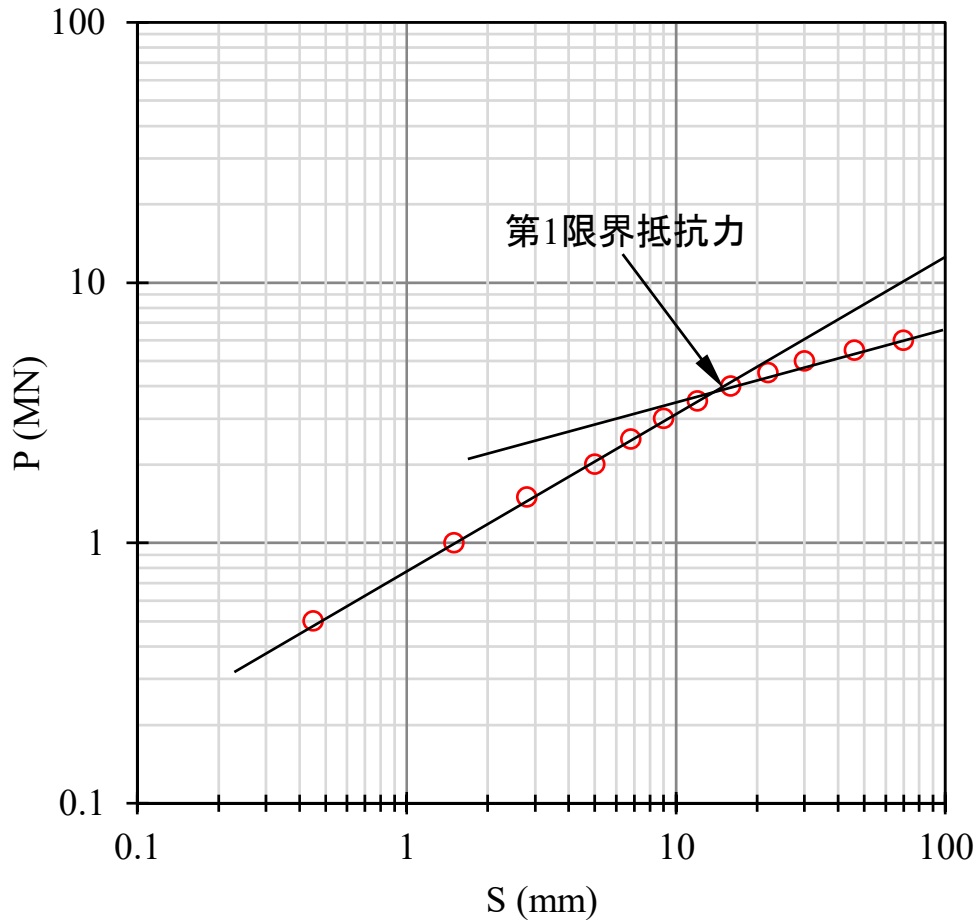
杭の鉛直抵抗力特性：

第一限界抵抗力(残留変位)：検討結果、評価方法

杭の鉛直抵抗力特性に関する代表指標値

杭の鉛直抵抗力特性に関する代表指標値(現行基準):

第1限界抵抗力と第2限界抵抗力



第1限界抵抗力

- ・荷重と変位量の関係
→両対数目盛でプロット
- ・載荷初期の直線関係とある変位量に達して別の直線に移行する際に生じる折れ点
→折れ点に対応する荷重
- ・折れ点が明瞭に現れない場合
複数の折れ点が認められる場合
→ S -log t 法、 $\Delta S/\Delta \log t$ - P 法、
残留変位量の急増点

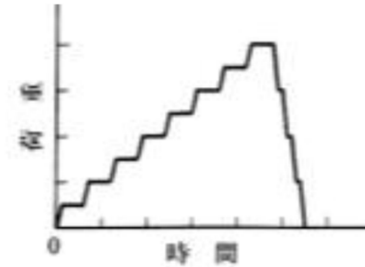
鉛直抵抗力特性に関する代表指標値

現行の第一限界抵抗力の算定方法

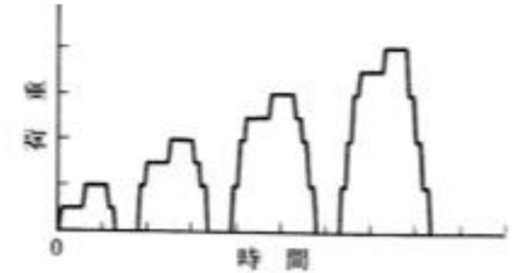
「段階載荷方式・多サイクル方式」での試験を前提

基準改訂後:

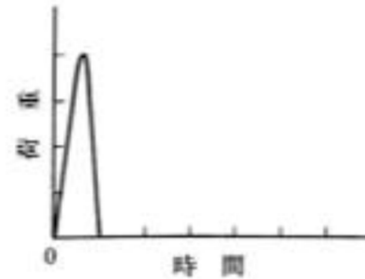
連続載荷方式、1サイクルなど
試験で把握したい挙動に応じて
載荷方法を選定



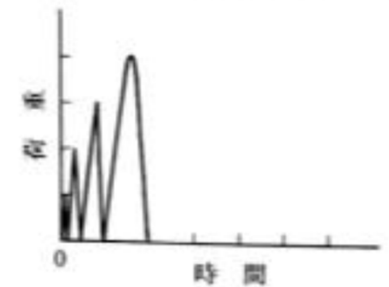
(a) 段階載荷方式・1サイクル



(b) 段階載荷方式・多サイクル



(c) 連続載荷方式・1サイクル



(d) 連続載荷方式・多サイクル

第一限界抵抗力:

多サイクル方式によって得られる情報と

荷重保持方式(現行の段階載荷方式)を区分する必要

→細分化することを提案

杭の鉛直抵抗力特性に関する代表指標値

①第一限界抵抗力(残留変位) R_{1r}

「残留変位挙動」のうちゼロ荷重段階まで除荷する繰り返し
し載荷によって得られた荷重と除荷後の残留変位量の関係



杭先端の残留変位が杭先端部径 D_b の2%に達する範囲

・明確な折れ点が認めれる場合

→ 折れ点に対応する荷重

・明確な折れ点が認められない場合:

→ 残留変位が 杭先端部径 D_b の2%に対応する荷重

杭の鉛直抵抗力特性に関する代表指標値

②第一限界抵抗力(クリープ) R_{1c}

荷重 F とクリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$ を折れ線で結んだ関係曲線から判定:

$\Delta\alpha$ が有意な正の値を示した荷重段階の荷重

60minクリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ が杭先端部径 D_b の0.5%に達するまでの範囲で $\Delta\alpha$ の有意な正の値を確認することができない場合:

荷重 F と60minクリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ を折れ線で結んだ関係曲線上で $\Delta\delta_{c60}$ が D_b の0.5%となる時点での荷重

- ・現行基準の $\Delta S/\Delta \log t$ - P 法に対応する考え方
- ・ISO 22477-1のAppendix-Aに準じて具体的な交点の求め方

第一限界抵抗力(残留変位)の検討

載荷試験データ

工法	件数
排土杭工法	29
非排土杭工法	7
	36

※排土杭工法:羽根付き鋼管杭, 打撃による鋼管杭

※非排土杭工法:場所打ち杭, プレーボーリングによる既製杭

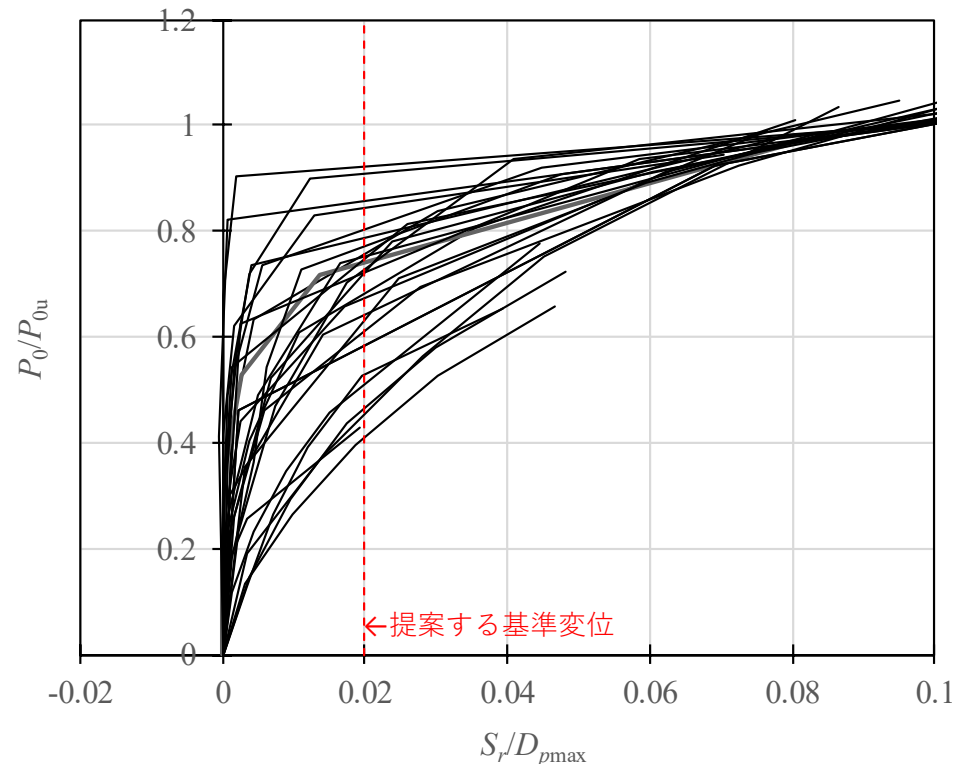
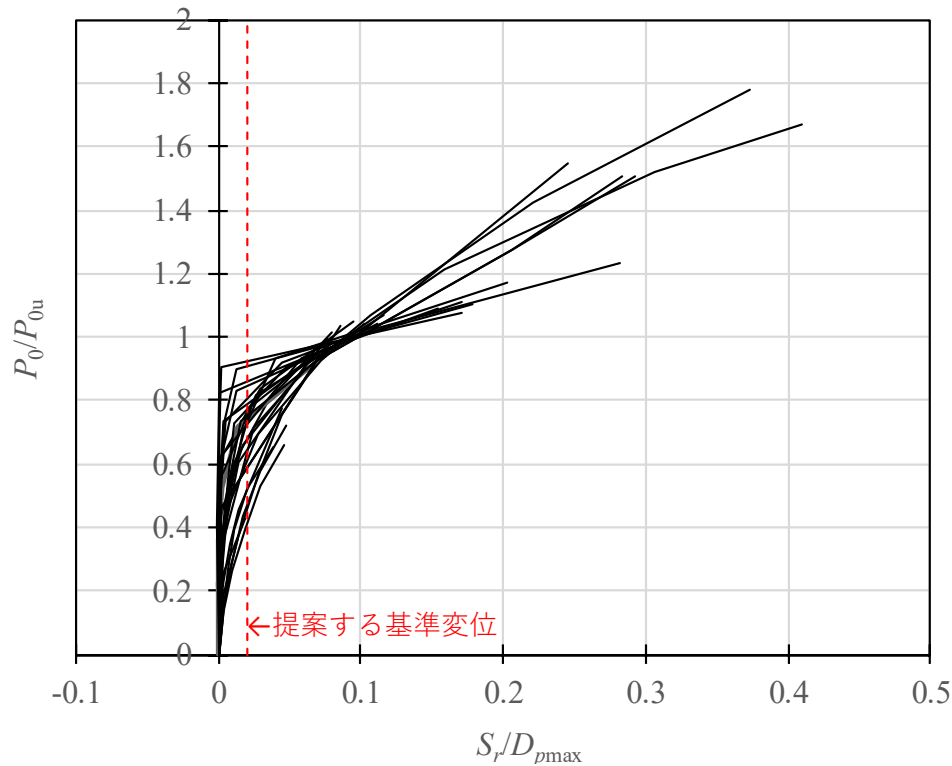
収集したデータ:

各ゼロ荷重段階での試験杭の残留変位量が得られるような
載荷方式

第一限界抵抗力(残留変位)の検討

分析結果および第一限界抵抗力(残留変位)の評価方法

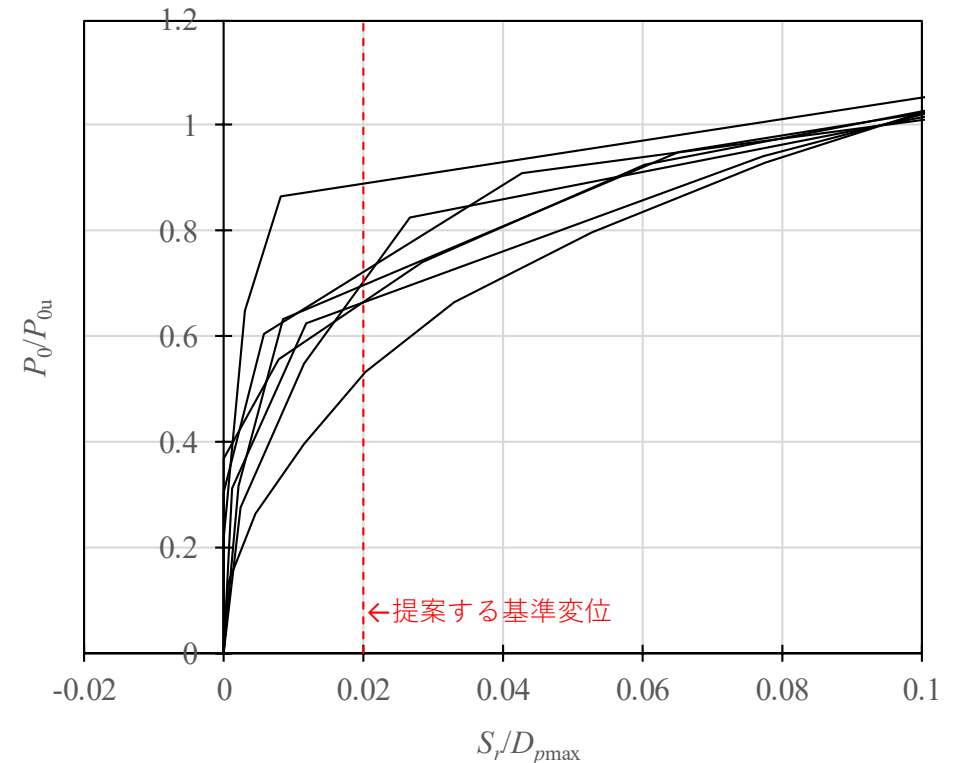
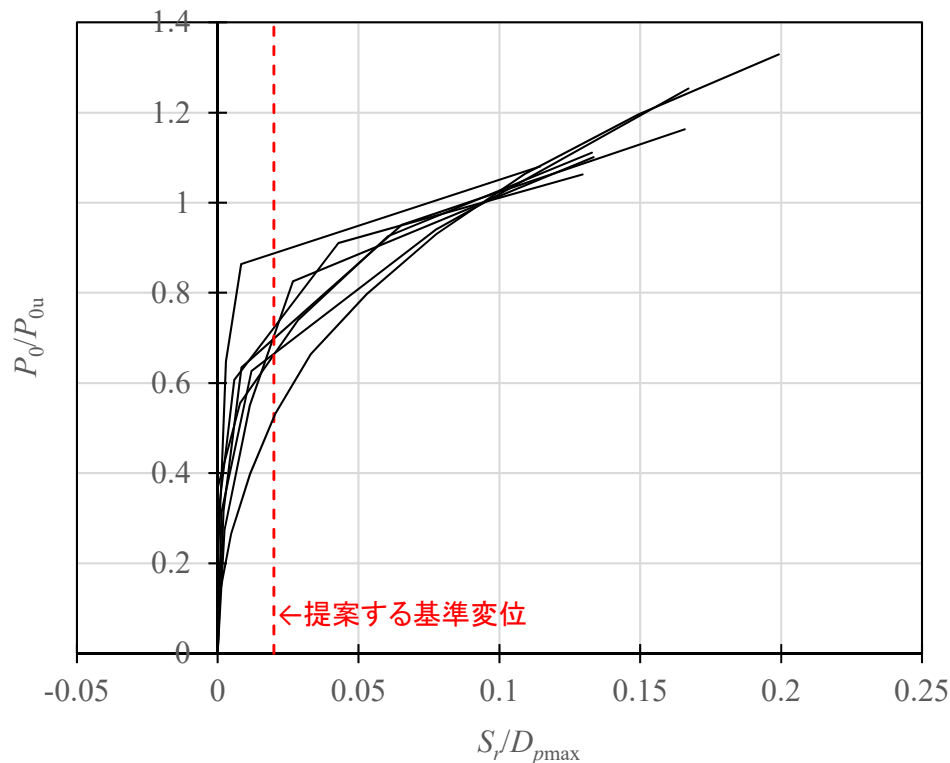
$P_0/P_{0u}-S_r/D_{pmax}$ 関係(非排土杭工法)



第一限界抵抗力(残留変位)の検討

分析結果および第一限界抵抗力(残留変位)の評価方法

$P_0/P_{0u}-S_r/D_{pmax}$ 関係(排土杭工法)



- ・正規化残留変位 S_r/D_{pmax} が大きくなるにつれて各曲線の勾配が変化
→ 曲線の勾配が変化する折れ点
- ・降伏荷重を判断するための指標: $S_r/D_{pmax} = 2.0$ (%)における荷重

第一限界抵抗力(残留変位)の検討

分析結果および第一限界抵抗力(残留変位)の評価方法

分析結果に基づき改訂検討中の基準では、

- 第一限界抵抗力(残留変位) R_{1r} を荷重-残留変位量曲線から評価
- 先端残留変位量が杭先端部径 D_b の2%までの範囲
明確な折れ点が生じる場合: 折れ点に対応する荷重
折れ点が生じない場合: 杭先端部径 D_b の2%に対応する荷重
- 荷重-残留変位量曲線
→ 各サイクル終了時の残留先端変位量とそのサイクルの最大荷重
の関係を折れ線で結んで評価

まとめ

地盤工学会基準“杭の鉛直載荷試験方法・同解説”の改訂作業における検討

- ・鉛直支持力特性の新たな代表指標値
- ・代表指標値の一つである第一限界抵抗力（残留変位）
→ 載荷試験データを分析

残留先端変位量が杭径の2.0%に到達する範囲における最大荷重として評価することが妥当

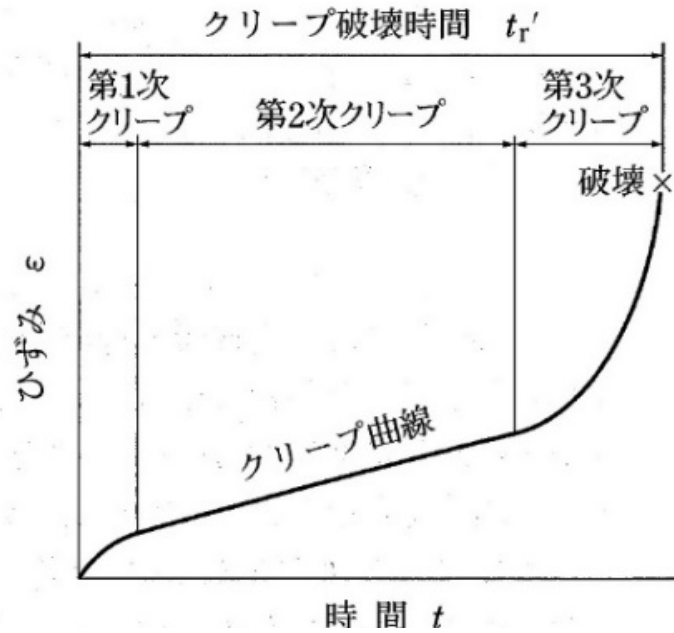
第1 限界抵抗力（クリープ） R_{1c} の定義と判定法

地盤工学会基準部 地盤設計・施工委員会
WG6杭の鉛直載荷試験基準改訂WG

地盤試験所 亀井 秀一

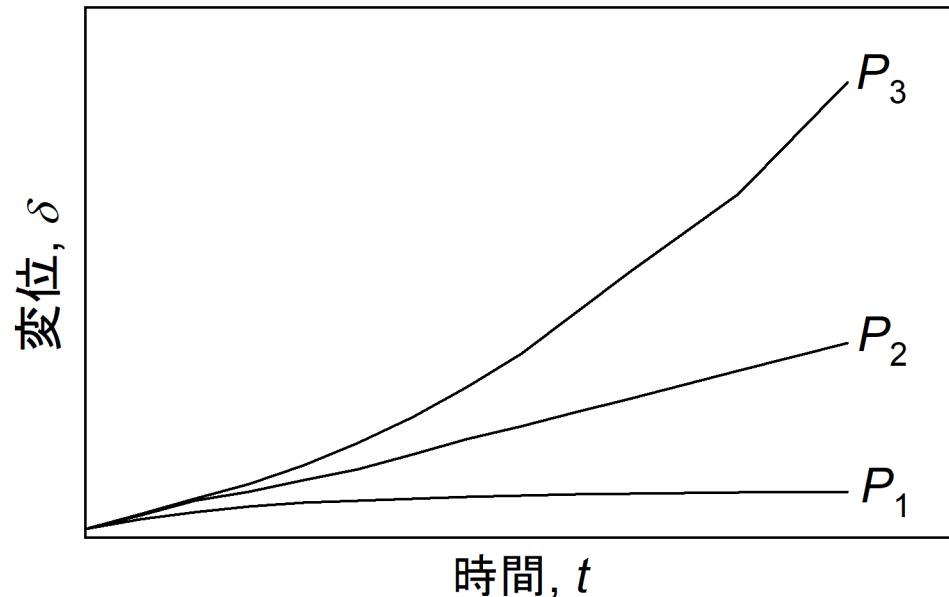
※西岡，渡邊，亀井，中里，菊池：杭の押込み試験における第1限界抵抗力（クリープ）の判定法の提案、
第57回地盤工学研究発表会、21-6-1-01、2022.

第1限界抵抗力（クリープ） R_{1c} の基本的な考え方



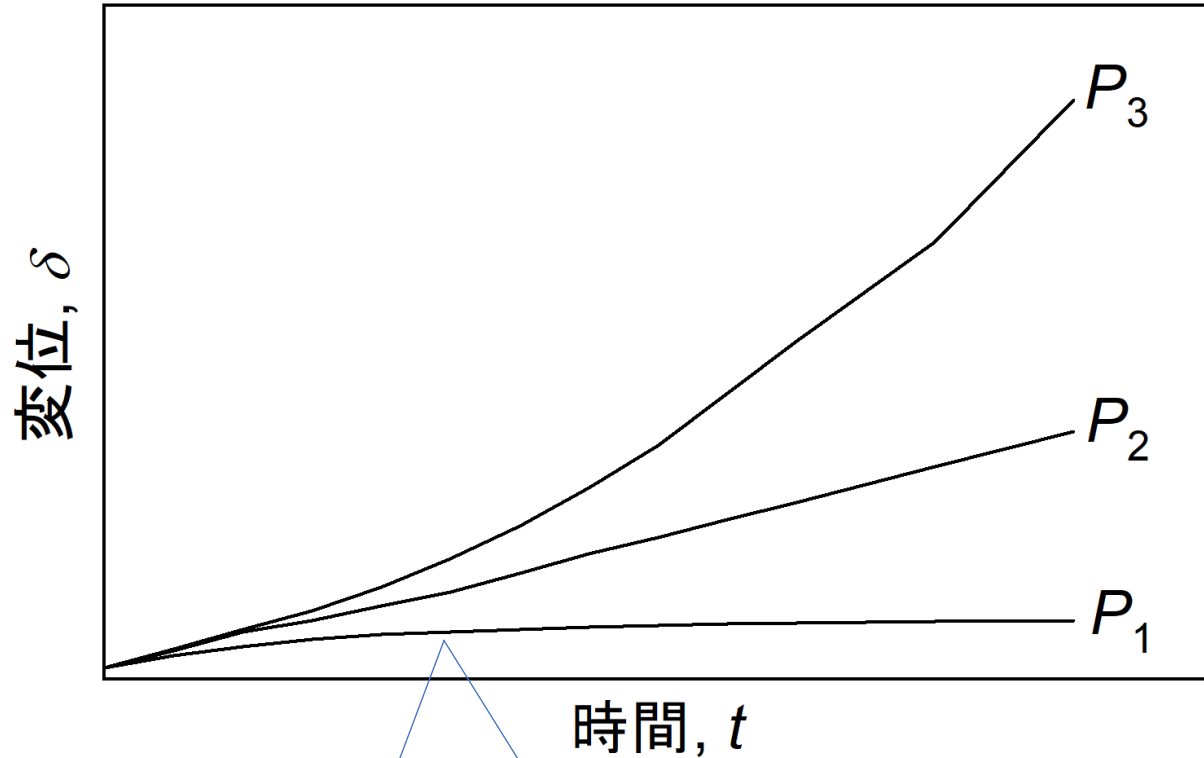
地盤工学用語辞典では、地盤材料のクリープ現象は、「一定応力の下でひずみが時間とともに変化する現象」のことである

- 1次クリープ：ひずみ速度が時間とともに減少する過程
- 2次クリープ：ひずみ速度がほぼ一定値に落ち着く過程
- 3次クリープ：破壊に至る過程

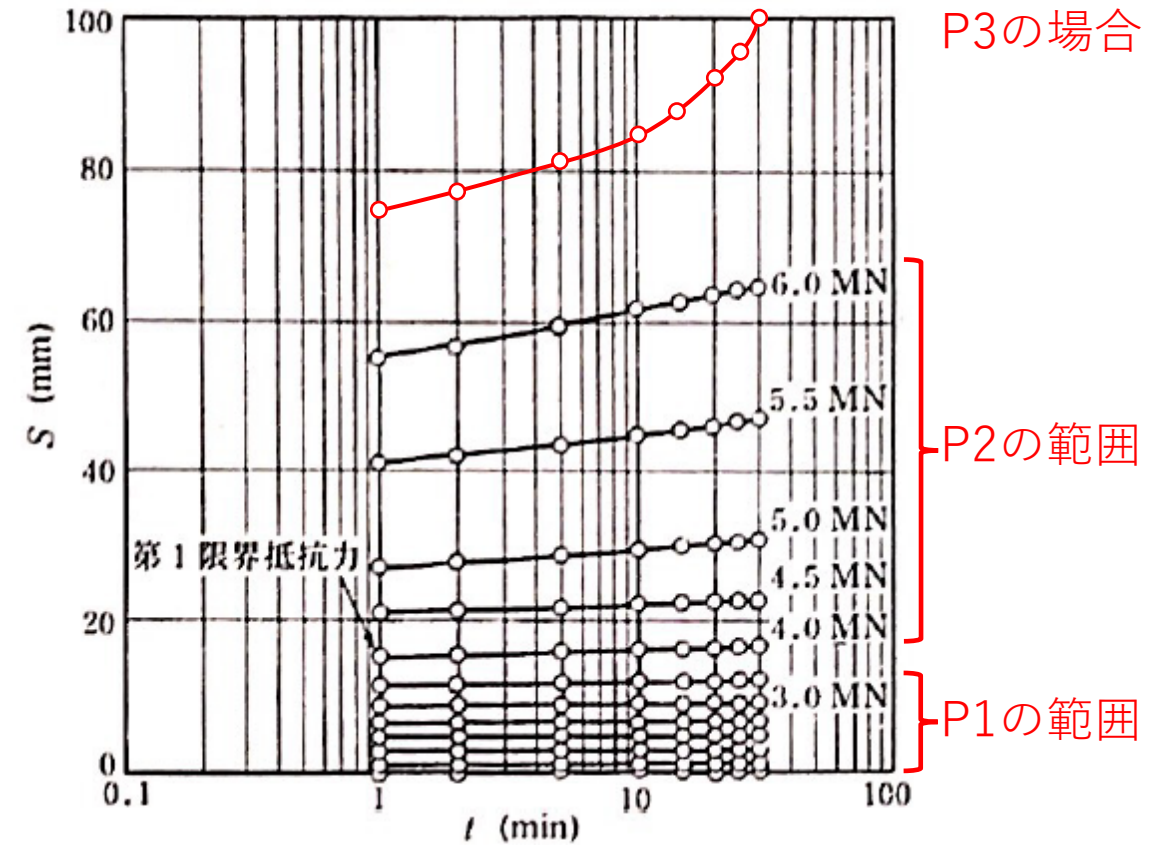


鉛直荷重を受ける杭のクリープ現象は、「杭頭に一定の荷重が作用し続けた状態で杭頭変位量が時間とともに増加する現象」

現行基準と基本的な考え方は同様



$S - \log t$ 曲線で表せば
直線となる領域 (=一次クリープ)



現行基準： $S - \log t$ 曲線における第1限界抵抗力
「 $S - \log t$ 曲線の直線性が失われる限界の荷重」

基本的な考え方は従来の $S - \log t$ 法と
同様だが判定基準を明確化

第1限界抵抗力（クリープ） R_{1c} とは

変位速度が時間とともに減少していく1次クリープ領域から，変位速度がほぼ一定値に落ち着く2次クリープ領域に移行しはじめる状態に対応する杭全体での静的な杭の抵抗力

- $\delta_h - \log_{10} t$ (δ_h : 杭頭変位量) 関係曲線の直線性が明瞭に喪失する状態に対応する静的な杭の抵抗力
 - ▶ $\delta_h - \log t$ 曲線 = 現行基準 $S - \log t$ 曲線
- $\delta_h - \log_{10} t$ 関係曲線の直線性の喪失は，各荷重段階の荷重 F とクリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$ との関係から判定
 - ▶ クリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$ はこれから説明します
- 直線性が明瞭に喪失する状態が認められない場合には，60minクリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ が杭先端部径 D_b の0.5%に対応する抵抗力とする。
 - ▶ 60minクリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ は後半に説明します

クリープ変位増加係数 $\alpha(t_S)$ 、クリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$

クリープ変位増加係数

$\delta_h - \log_{10} t$ 関係曲線の近似直線の勾配

クリープ変位増加係数 $\alpha(1 \text{ min})$ $\alpha(1 \text{ min}) = \frac{\delta_{h,30} - \delta_{h,1}}{\log_{10} 30 - \log_{10} 1}$
 $t_S = 1 \text{ min}$ からの勾配

$$\alpha(t_S) = \frac{\delta_{h,tE} - \delta_{h,tS}}{\log_{10} t_E - \log_{10} t_S} = \frac{\delta_{h,tE} - \delta_{h,tS}}{\log_{10}(t_E/t_S)}$$

▶ (従来の $\Delta S / \Delta \log t - P$ 法)

クリープ変位増加係数変化量

$$\Delta\alpha = \alpha(t_E / 2) - \alpha(1 \text{ min})$$

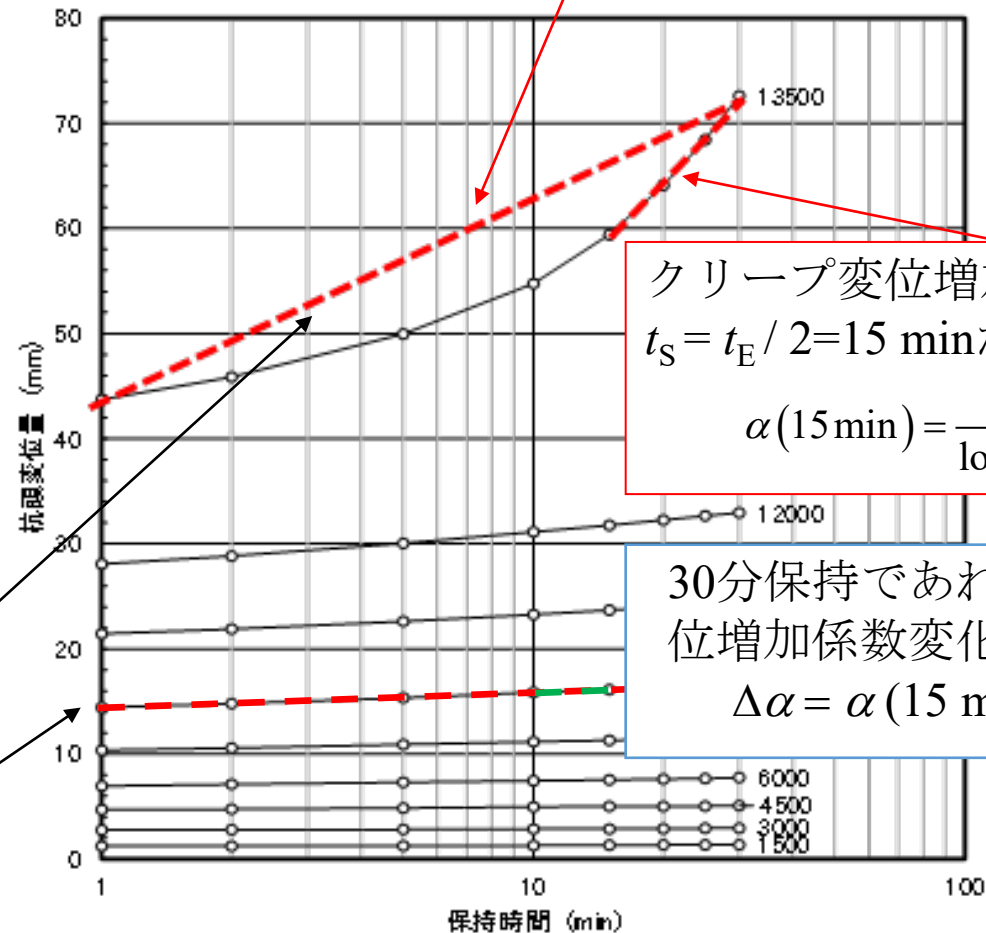
▶ () 内は起点の時間を示す

$\delta_h - \log_{10} t$ 曲線が下に凸の形状

$\alpha(1 \text{ min})$ よりも $\alpha(15 \text{ min})$ の方が大きな値となる
 クリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$ は正の値を示す

$\delta_h - \log_{10} t$ 曲線が直線性を保持

$\alpha(1 \text{ min})$ と $\alpha(15 \text{ min})$ は同じ値になる
 クリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$ はゼロ



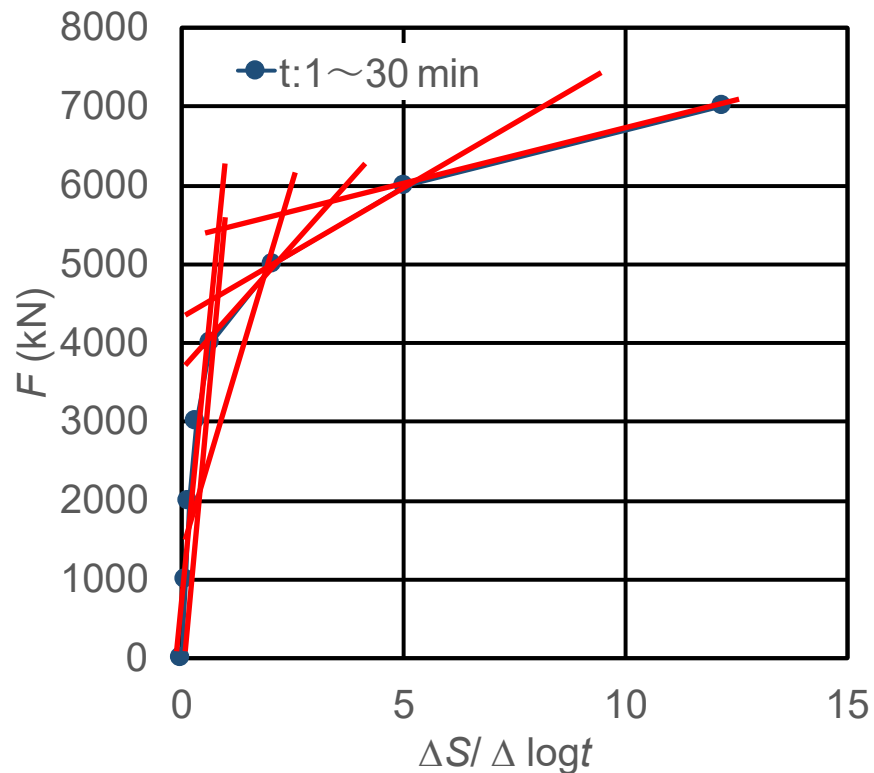
クリープ変位増加係数 $\alpha(15 \text{ min})$
 $t_S = t_E / 2 = 15 \text{ min}$ からの勾配
 $\alpha(15 \text{ min}) = \frac{\delta_{h,30} - \delta_{h,15}}{\log_{10} 30 - \log_{10} 15}$

30分保持であれば、クリープ変位増加係数変化量は下式となる
 $\Delta\alpha = \alpha(15 \text{ min}) - \alpha(1 \text{ min})$

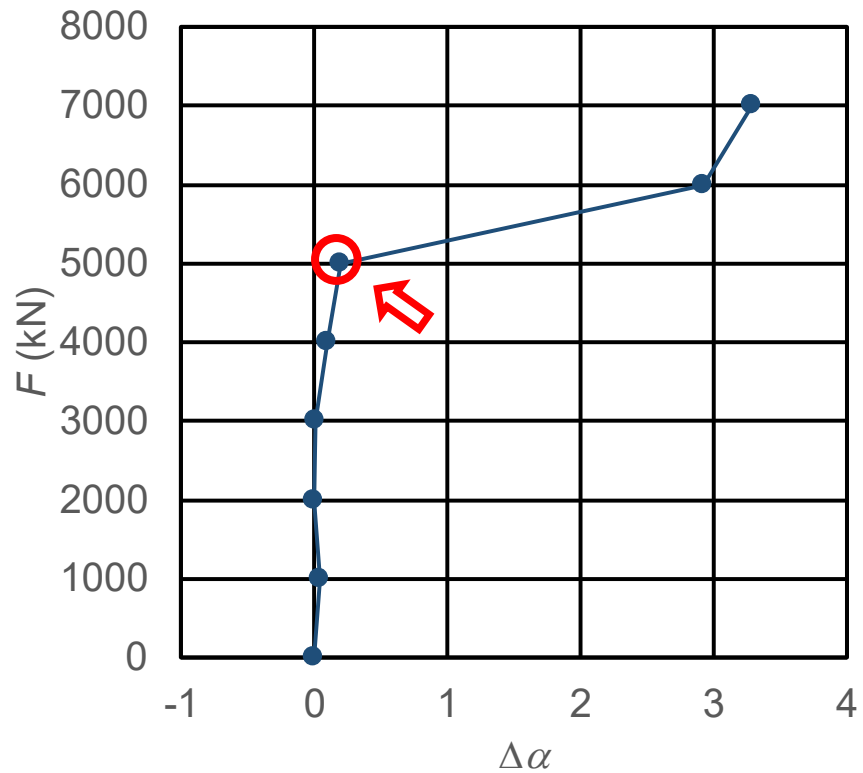
第1限界抵抗力（クリープ） R_{1c} の新旧判定法の比較

$\Delta S / \Delta \log t$ の急増する点を求める

$\Delta\alpha$ 法： F - $\Delta\alpha$ 曲線図から折れ点を判定



現行基準の $\Delta S / \Delta \log t$ 法



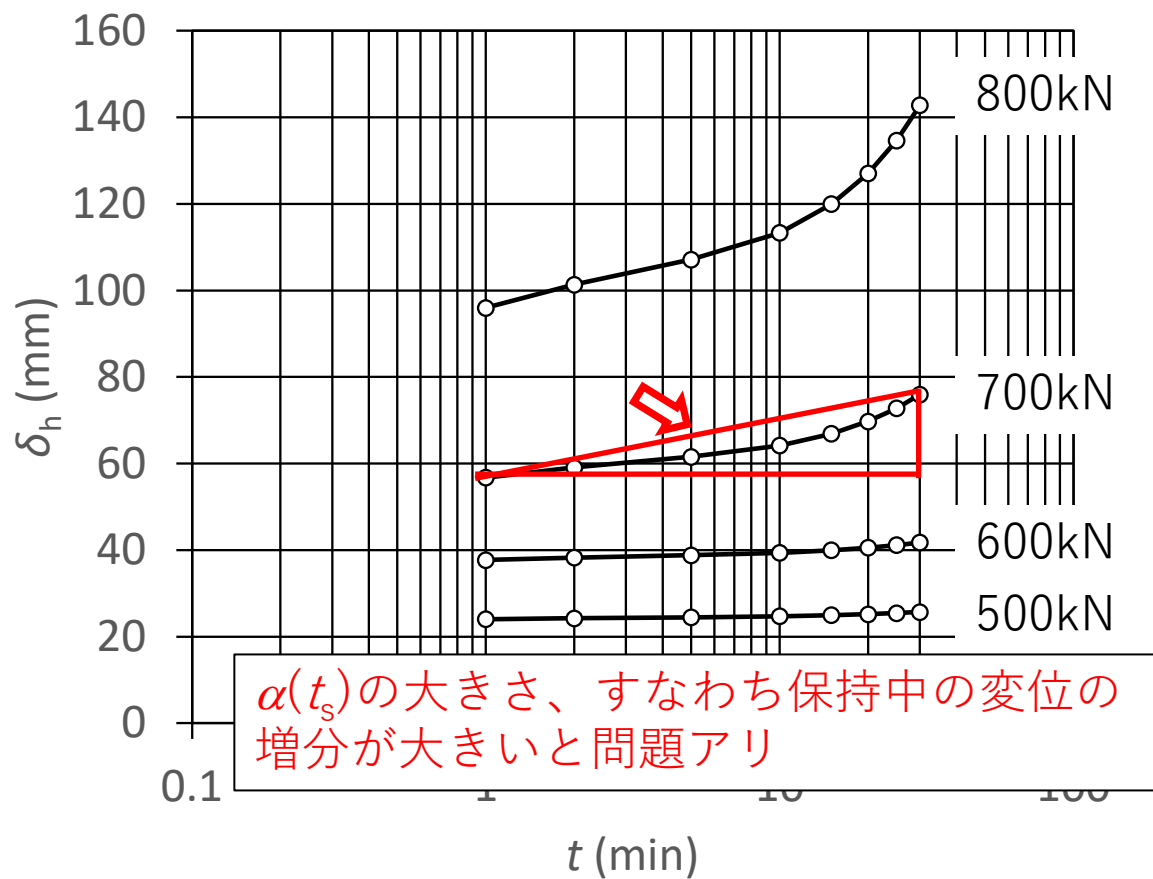
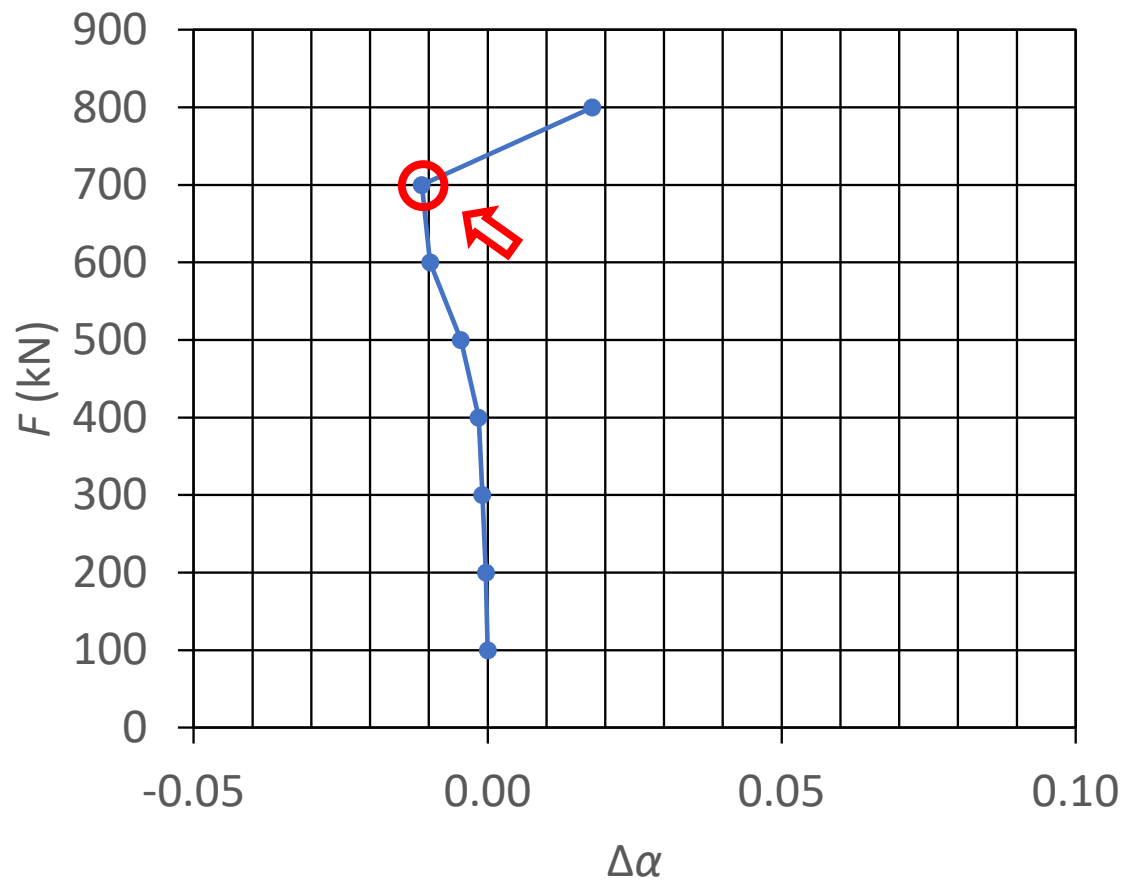
$\Delta\alpha$ 法



$\Delta\alpha$ 法は個人差および試験規模による差異の影響を受けにくい判定方法である

60分クリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ の制限値

杭の変位速度が2次クリープに移行していなくても、1次クリープ自体が過大な場合、この変位速度に相当する荷重を第1限界抵抗力（クリープ）と判定するのは問題アリ



$\alpha(t_s)$ の大きさ、すなわち保持中の変位の増分が大きいと問題アリ

60分クリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ の制限値

60分クリープ変位増加量

荷重保持開始からの経過時間 t が1 minの時点から60 minの時点までの杭頭変位量 δ_h の増分

$$\Delta\delta_{c60} = \delta_{h,60} - \delta_{h,1}$$

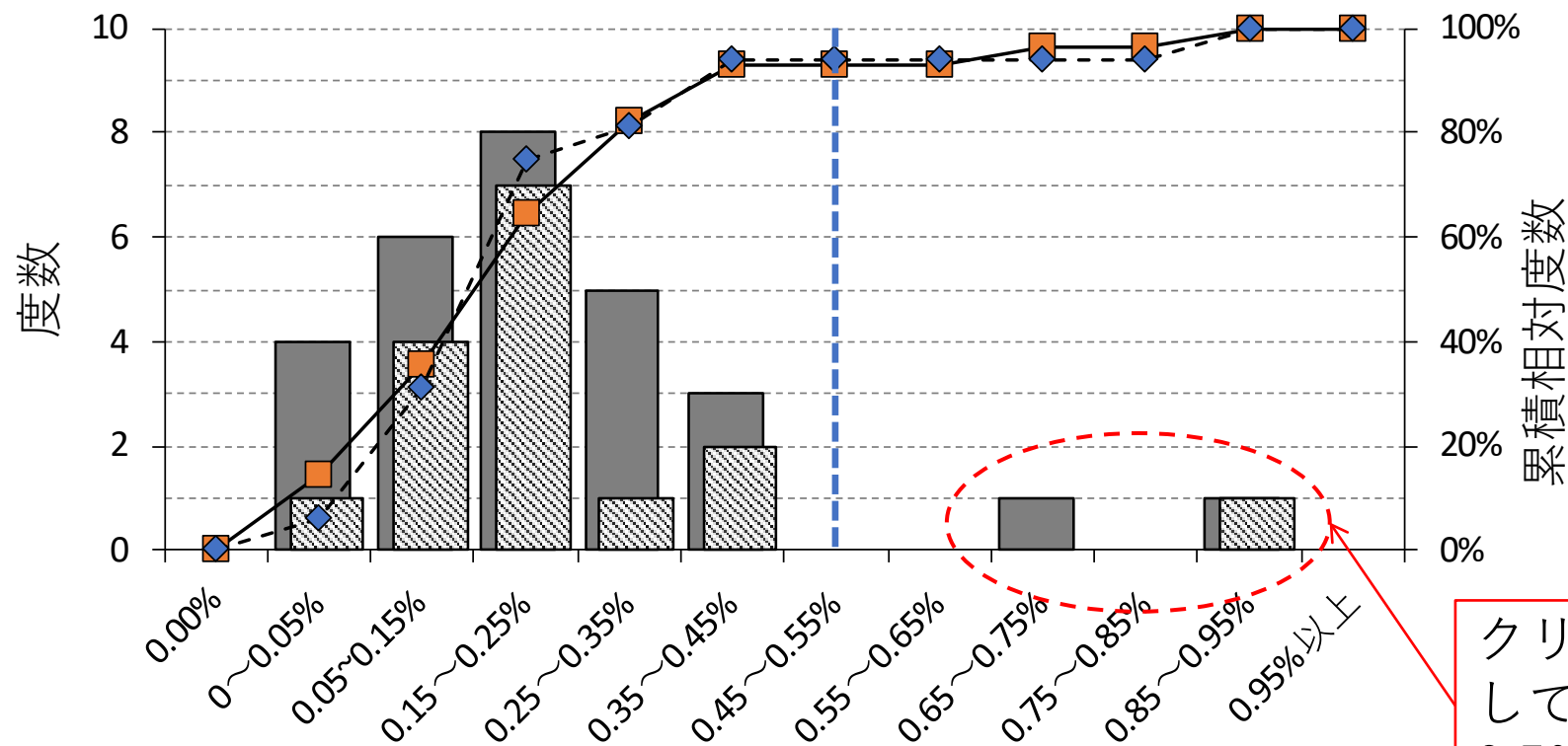
ただし、荷重保持時間が60 min未満の場合は、一般に以下の式によって60minクリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ を外挿推定してよい。

$$\Delta\delta_{c60} = \log_{10} 60 \cdot \alpha(t_s) = 1.778 \cdot \alpha(t_s)$$

$$\Rightarrow \alpha(t_s) = \frac{\delta_{h,30} - \delta_{h,1}}{\log_{10} 30 - \log_{10} 1} = \frac{\delta_{h,60} - \delta_{h,1}}{\log_{10} 60 - \log_{10} 1} = \frac{\Delta\delta_{c60}}{\log_{10} \left(\frac{60}{1} \right)} = \frac{\Delta\delta_{c60}}{1.778}$$

※ $\alpha(t_s)$ が30分も60分も同じ場合

60分クリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ の制限値



杭先端部径 D_b で正規化した□分クリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}/D_b$

クリープで決まる荷重を過大評価しているため、杭先端部径 D_b の0.5%に相当する荷重で判定

現行基準による第1限界抵抗力作用時の60分クリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ のヒストグラム

➡ $\Delta\delta_{c60}$ が杭先端部径 D_b の0.5%以下となる荷重を R_{1c} と判定

第1限界抵抗力（クリープ） R_{1c} とは

変位速度が時間とともに減少していく1次クリープ領域から，変位速度がほぼ一定値に落ち着く2次クリープ領域に移行しはじめる状態に対応する杭全体での静的な杭の抵抗力

- $\delta_h - \log_{10} t$ (δ_h : 杭頭変位量) 関係曲線の直線性が明瞭に喪失する状態に対応する静的な杭の抵抗力
- $\delta_h - \log_{10} t$ 関係曲線の直線性の喪失は，各荷重段階の荷重 F とクリープ変位増加係数変化量 $\Delta\alpha$ との関係から判定
- 直線性が明瞭に喪失する状態が認められない場合には，60minクリープ変位増加量 $\Delta\delta_{c60}$ が杭先端部径 D_b の0.5%に対応する抵抗力とする。

ご清聴ありがとうございました。