

**ジオ・フォーラム 2015**

**基礎講座② 原位置試験**

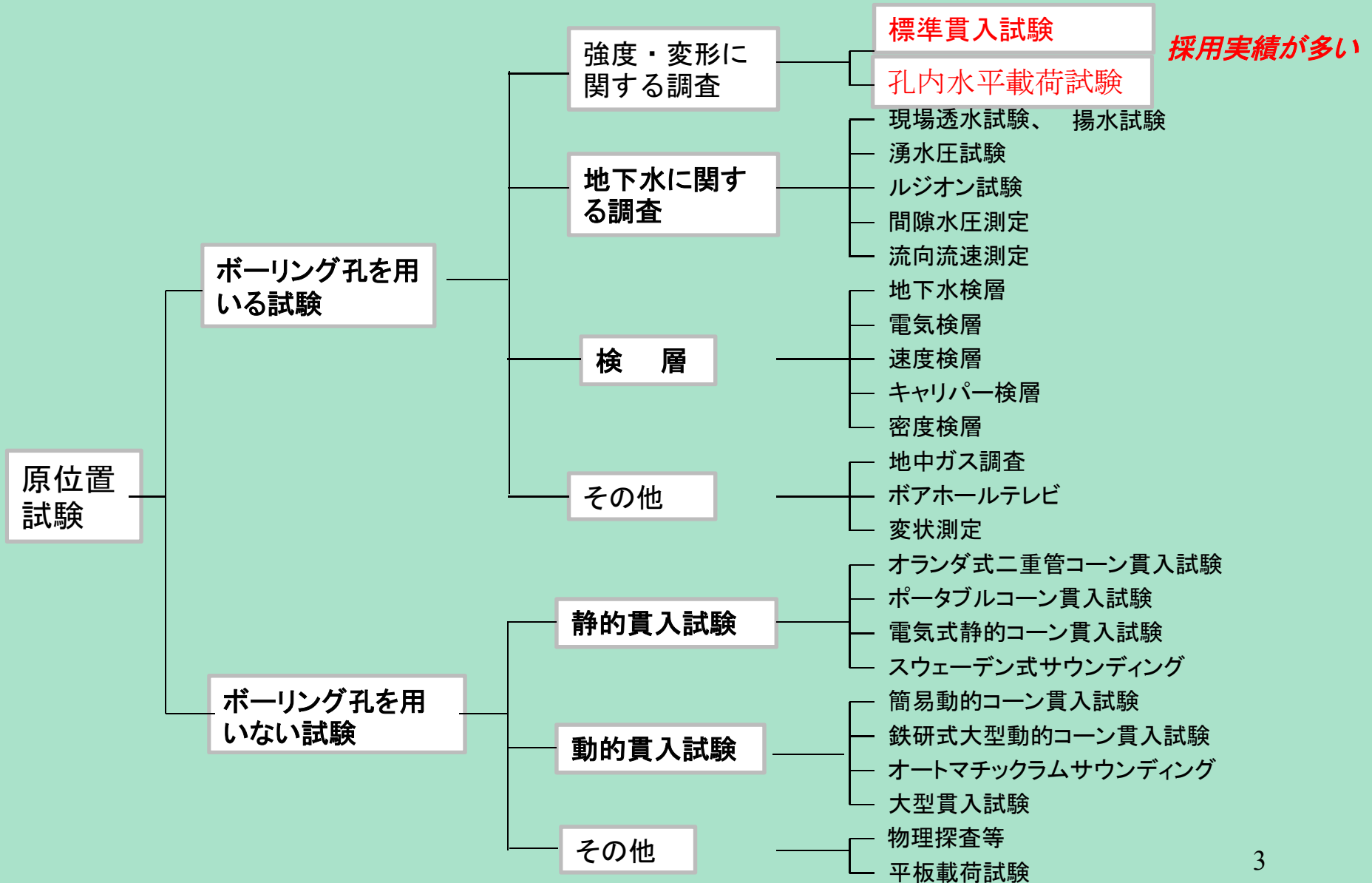
**標準貫入試験N値  
孔内水平載荷試験**

(株)富士和 / (株)中日本コンサルタント

# 原位置試験とは

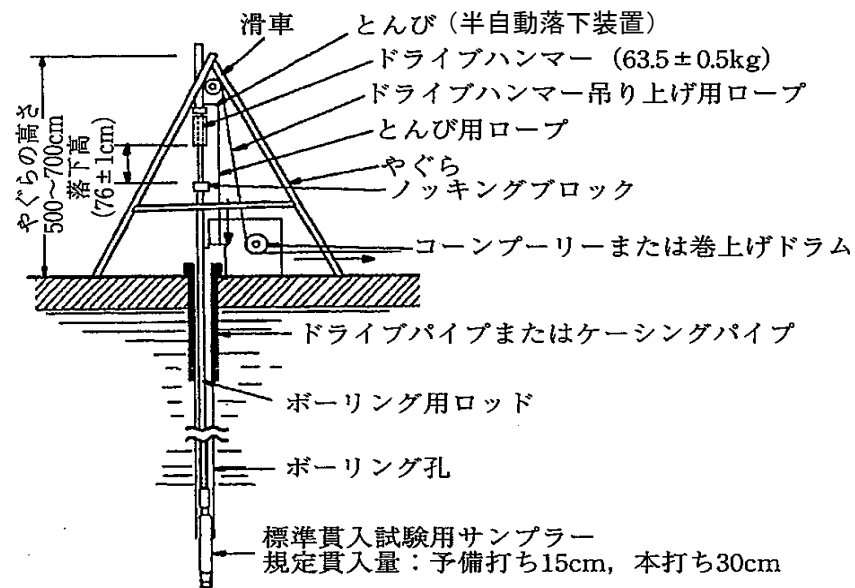
- ①原位置において、**地表**または**ボーリング孔**などを利用して**地盤の性質**を直接調べる**試験**の総称。
- ②数々の**自然条件**の中で、**直接的に地盤状態**が計測、**観察**できる。  
※自然条件:地盤の有効応力(土圧)、地下水、等々
- ③原位置試験は、地盤の**強度・変形特性**、**透水性****物理的性質**などを求める試験がある。

# 原位置試験(広い意味)の種類



# 標準貫入試験 N値

# 試験・測定装置モデル図



標準貫入試験装置および器具の名称



# 標準貫入試験 N値

## 目的

1) 原位置による**土の硬軟、締まり具合**判定

2) 試料採取による**土の判別、分類**

※採取土が直接確認でき、室内土質試験(物理)ができる。

3) N値による**地盤定数の推定**

※せん断抵抗角 $\phi$ 、粘着力C、変形係数E 等

**注意:**粘性土のN値 $< 5$ は強度が大きく「ばらつく」

# 測定・原理

- ①標準貫入試験サンプラーを孔底におろす。
- ②質量**63.5±0.5kg**のハンマーを**76±1cm**の高さから自由落下させる。  
※最近では半自動落下装置が普及している。
- ③ハンマーの打撃により、**15cm**の予備打ち後、  
本打ちとして**30cm貫入**させる。この時の  
**30cm貫入の際の打撃回数（N値）**を測定する。
- ④その時、試料も同時に採取する

# 標準貫入試験N値 主な結果の利用

- ・ 砂のせん断抵抗角 $\phi$ の推定

推定式が各指針で提案されている。

粘性土に比較してN値との相関性が良い

- ・ 粘土の一軸圧縮強度 $q_u$ (粘着力 $C$ )を推定

※推定式は各指針で明確に提案されていない。

N値 $<5$ の軟弱層は室内土質試験(一軸、三軸圧縮)等で求める。

道路橋示方書下部構造p140、建築学会. 地盤調査計画指針p48

- ・ 地盤の支持力度

- ・ 杭の鉛直支持力, 周面摩擦力

- ・ 変形係数の推定

- ・ 液状化強度(繰返し三軸強度比 $RL$ を推定)



# N値から砂のφを推定

N値と砂のせん断抵抗角φは、以下の関係が示されているが、**N値は有効上載圧 $\sigma_v'$ の影響は考慮していない。**

N値とせん断抵抗角φの関係(有効上載圧 $\sigma_v'$ 考慮していない)

N 値 (相対密度)	内部摩擦角 φ (度)				
	Terzaghi Peck	Meyerhof	Dunhum	大崎 <sup>*1</sup>	道路橋 <sup>*2</sup>
0 ~ 4 (非常に緩い)	28.5 >	30 >	①粒子丸・粒 度 様 $\sqrt{12N} + 15$	$\sqrt{20N} + 15$	多用していた $\sqrt{15N + 15}$ $\sqrt{15N} + 15$ ( $N \geq 5$ )
4 ~ 10 (緩い)	28.5 ~ 30	30 ~ 35	②粒子丸・粒 度良		
10 ~ 30 (中位の)	30 ~ 36	35 ~ 40	③粒子角・粒 度一様 $\sqrt{12N} + 20$		
30 ~ 50 (密な)	36 ~ 41	40 ~ 45	$\sqrt{12N} + 25$		
> 50 (非常に密な)	> 41	> 45			

※ 1 : 建築基礎構造設計指針に引用されている。  
 ※ 2 : 道路橋示方書1996年版以前で採用されていた。

# 有効上載圧の影響を考慮した砂の $\phi$ 推定式

最近は各指針で有効上載圧を考慮した推定式が提案されている。

## 有効土被り圧の影響を考慮したN値と $\phi$ の関係式

基準名	提案式
道路橋示方書 <sup>3)</sup>	$\phi = 4.8 \ln \left( \frac{170N}{\sigma'_v + 70} \right) + 21 \quad (N > 5)$
港湾の施設の技術上の基準 <sup>4)</sup>	$\phi = 25 + 3.2 \sqrt{\frac{100N}{70 + \sigma'_v}}$
鉄道構造物等設計標準 基礎構造物・抗土圧構造物 <sup>5)</sup>	$\phi = 1.85 \left( \frac{N}{0.01\sigma'_v + 0.7} \right)^{0.6} + 26$ $\phi = 0.5N + 24$ (地震時の上限値)
建築基礎構造設計指針 <sup>6)</sup>	$\phi = \sqrt{20N_1} + 20 \quad (3.5 \leq N_1 \leq 20)$ $\phi = 40 \quad (20 < N_1)$ ただし、 $N_1 = \sqrt{98(\sigma'_v)} \times N$

## N値と粘性土の一軸圧縮強度 $q_u$ の関係

地盤工学会. 地盤調査の方法と解説p308には、**Terzaghi and Peck**の導いた関係は $q_u \doteq 12.5N$ が示されているが、**バラツキが多く密接な関係に乏しいと指摘されている。**

**粘性土のN値 $\leq 4$ は特にバラツキが大きい**

表一 N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係(Terzaghi and Peck)

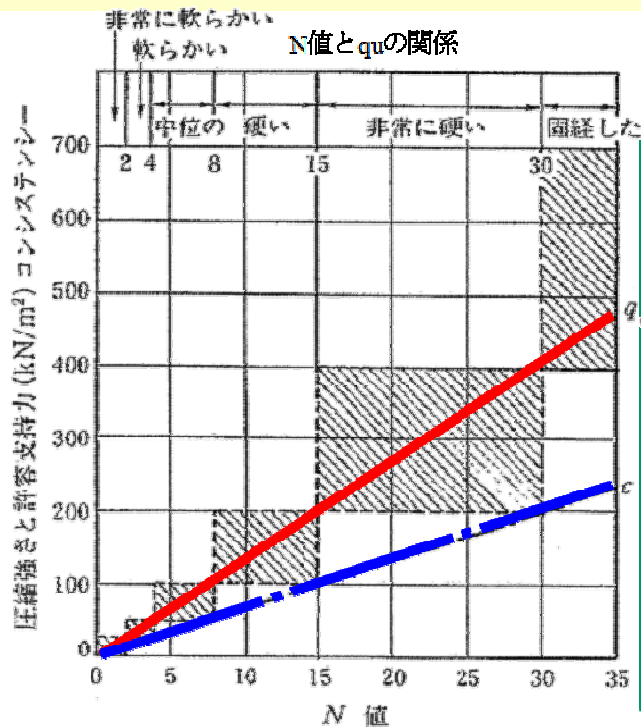
N 値	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	コンシステンシー
0~ 2	0.0~ 24.5	非常に柔らかい
2~ 4	24.5~ 49.1	柔らかい
4~ 8	49.1~ 98.1	中位の
8~15	98.1~196.2	硬い
15~30	196.2~392.4	非常に硬い
30~	392.4~	固結した

地盤工学会. 地盤調査の方法と解説p308

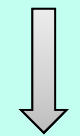
# N値と 粘性土の一軸圧縮強度 $q_u$ (粘着力 $C$ )の推定

地盤工学会. 地盤調査の方法と解説p308には、

**Terzaghi and Peck**の導いた関係は $q_u \doteq 12.5N$ が示されているが、バラツキが多く密接な関係に乏しいと指摘されている。



$$q_u \doteq 12.5N \quad (\text{kN/m}^2)$$



$q_u / 2 = C$  の関係より

$$C \doteq 6N \quad (\text{kN/m}^2)$$

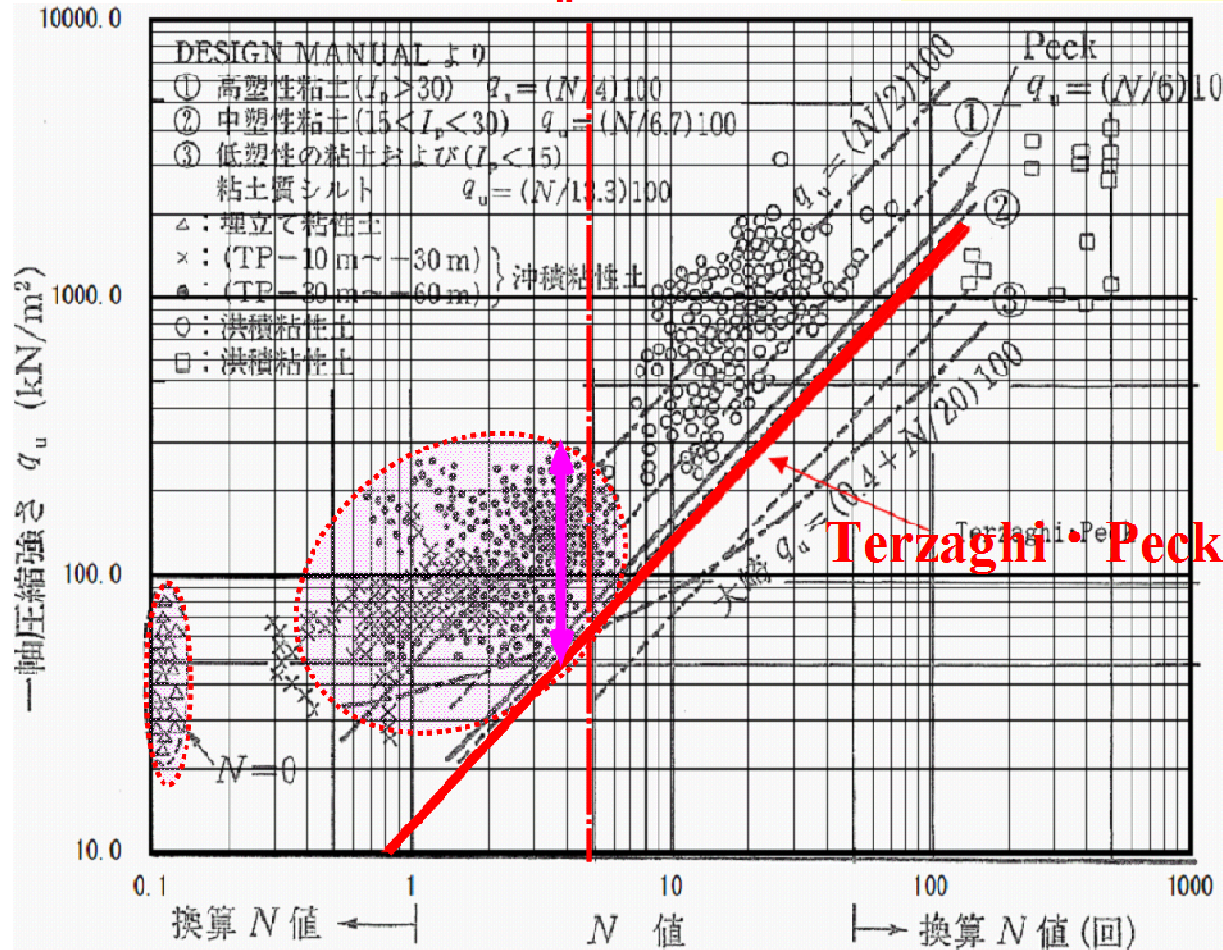
※安全側の設計値として採用されている

表一 N値と粘土のコンシステンシー、一軸圧縮強さの関係(Terzaghi and Peck)

# N値と粘性土の一軸圧縮強度 $q_u$ の関係 資料

N値=5

N値<5で特にバラツキが多い



N値=4で  
 $q_u=50\sim 300$ (kN/m<sup>2</sup>)  
の範囲でバラツク

地盤工学会. 地盤調査の方法と  
解説P309  
道路土工. 軟弱地盤対策指針p45  
N値>4で以下の関係が  
示されている  
 $q_u \doteq 25N \sim 50N$ (kN/m<sup>2</sup>)

図-1.25  $q_u$  と N 値の関係 (東京湾周辺地盤の海成粘性土)<sup>27)</sup>

## 粘性土N値<5の粘着力の推定に注意

・道路橋示方書下部構造p140

N値が5未満の軟弱粘性土は、大きな打撃エネルギーを有する標準貫入試験で、粘着力Cを推定することは、適当でないとされている。

・地盤工学会.地盤調査の方法と解説P308

N値と $q_u$ の対応はバラツキが多く密接な関係に乏しいとされている。

乱れの少ない試料採取※1による室内土質試験※2や他の原位置試験から求めることが良いとされている。

※1. シンウォールサンプリング

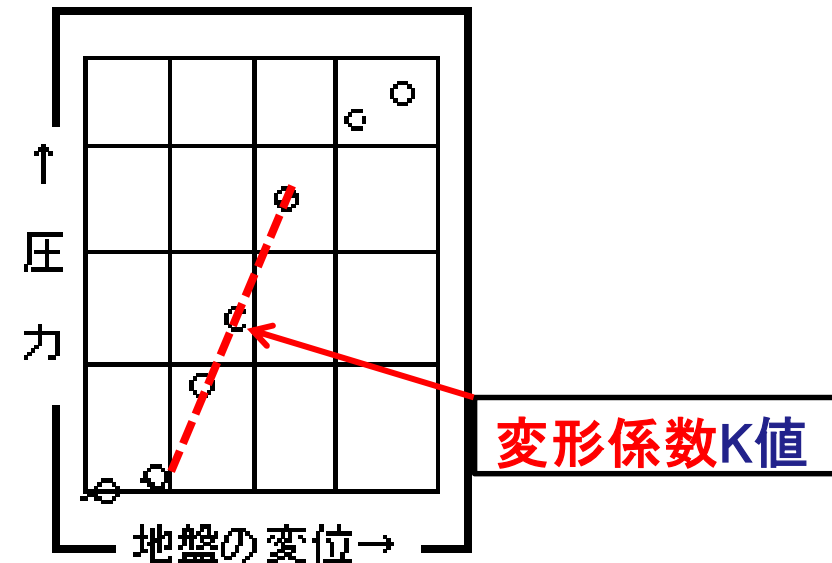
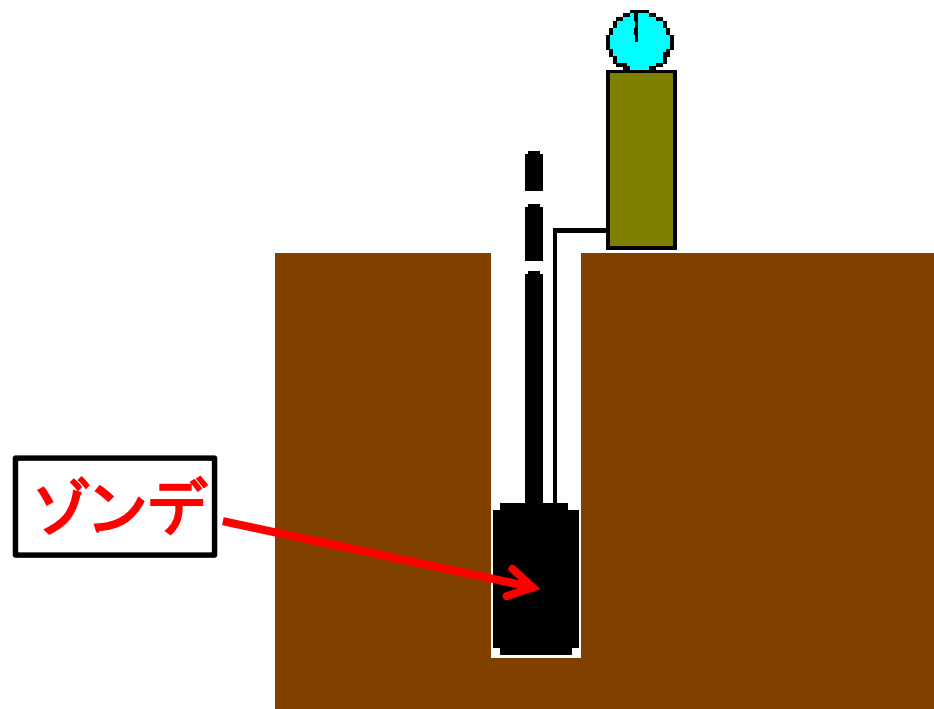
※2. 一軸圧縮、三軸圧縮、静的コーン貫入試験 等

建築学会. 地盤調査計画指針P47でも同様に記載されている。

# 孔内水平載荷試験

# 孔内水平載荷試験概要1

- ゾンデをボーリング孔のなかで膨らませ、地盤の変位と圧力の関係を測定し、**地盤の水平方向の変形特性**を求める。
- グラフで直線部分が弾性変形領域で、この傾きが**地盤の変形係数K値**である。



※ 関東地質調査業協会ホームページより引用



# 孔内水平載荷試験概要2

## 採用地盤条件

- ・孔壁が保持(自立)できれば測定可能
- ・不攪乱試料の採取が難しい礫混じり土、破碎岩盤でも計測が可能。

## 結果利用

試験結果は主に以下の検討基礎資料となる。

- ・杭の水平許容支持力、変位量
- ・鋼矢板の変位量、矢板断面
- ・既設構造物で近接掘削を実施する場合に地盤変位の影響度を判定する。

# 測定 の 留意事項

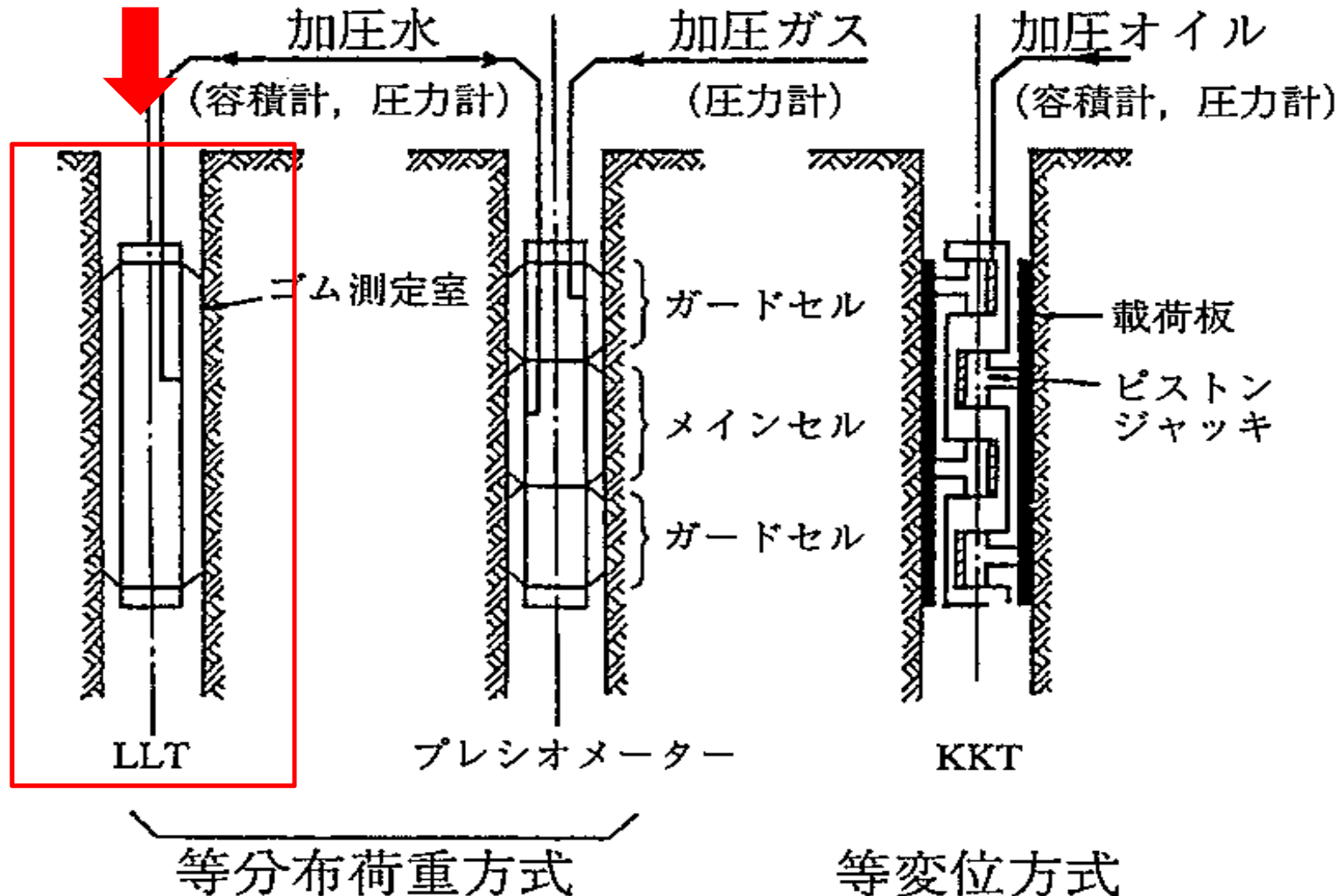
- ボーリング孔壁の仕上がり精度が結果に影響する。
- 地盤の堅さに応じた、試験器、荷重段階を用いる。
- 各試験器に適応した掘削孔径で実施する
- 応力解法による乱れを少なくするため、試験区間を削孔後、速やかに試験を行う。

# 地盤の堅さによる試験機器の選定

- 測定地盤は、**軟弱土質地盤から岩盤**まで適用できる。
- 載荷する圧力により、以下のように区分されている。
- **低圧用** :  $P=0 \sim 2.5 \text{MN/m}^2$  → **土質地盤**
- **中圧用** :  $P=2.5 \sim 10 \text{MN/m}^2$
- **高圧用** :  $P=10 \sim 20 \text{MN/m}^2$  } **岩盤**

# 孔内水平載荷試験器 地盤 加圧方式

採用実績が多い



# 各種測定機器の相違点

比較項目 試験器具	加圧	変位測定		載荷部分				
		方法	手段	載荷板	形状	直径 (mm)	長さ (cm)	室構成
LLT	ポンベ 貯蔵の N <sub>2</sub> ガス	間接	注水量	厚肉 弾性 ゴム	円筒	60~ 80	50~60	1
プレシ オメー ター	ポンベ 貯蔵の CO <sub>2</sub> ガス	間接	注水量	厚肉 弾性 ゴム	円筒	60	50 (測定 部分は 20cm)	3
KKT	油圧	間接	注油量	剛板 2枚	二つ割 りの近 似円筒	85 100	30	1室に 準じる

# 軟弱地盤用 試験器

低圧用 土質地盤  $P=0\sim 2.5(\text{MN}/\text{m}^2)$



孔径66・76・86mm  
(LLT-M)



孔径66または86mm  
(LLT-S、LLT)

# 硬質地盤～岩盤用 試験器

中圧～高圧用 岩盤  $P=2.5\sim 20(\text{MN}/\text{m}^2)$

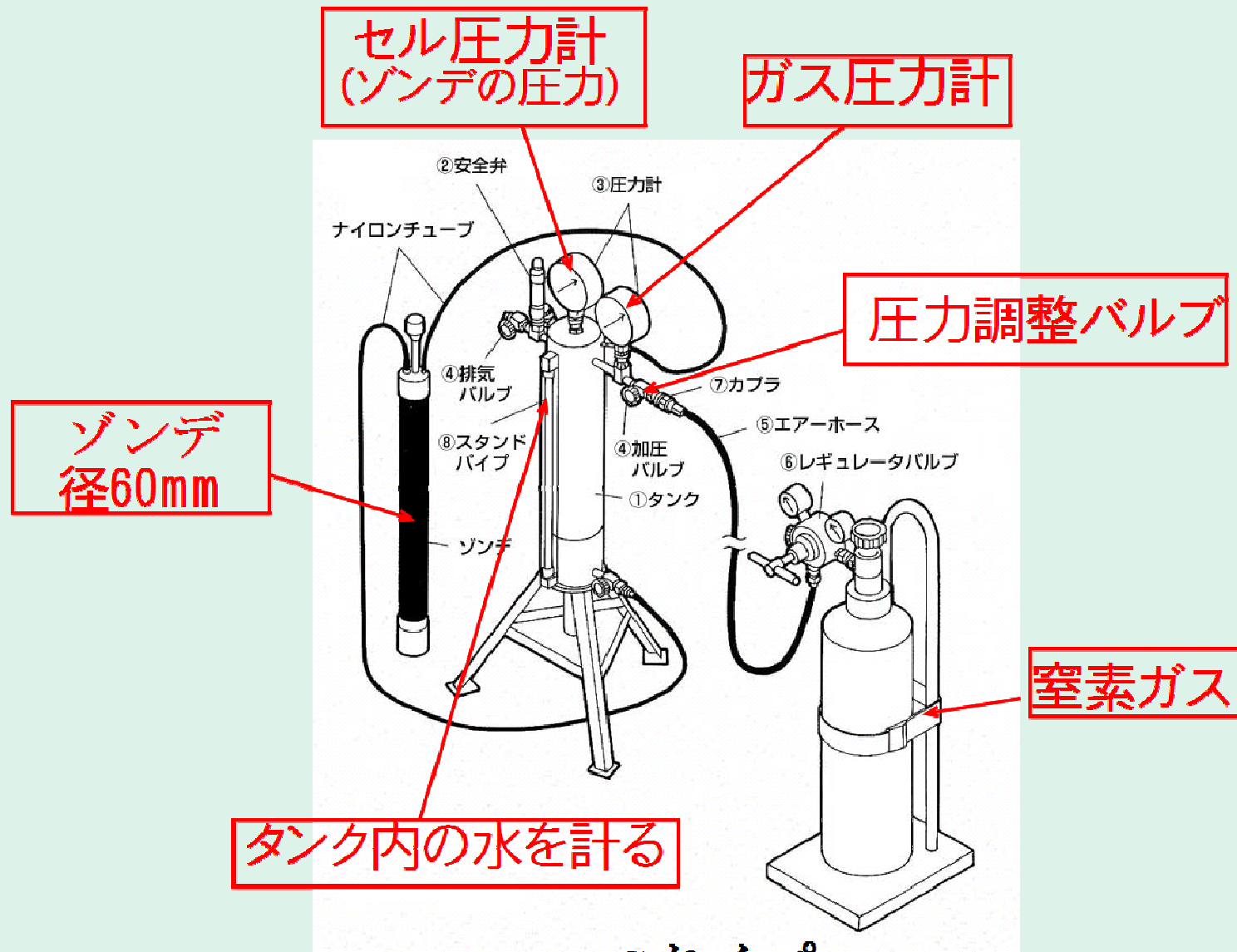


孔径66mm  
(エラスト200)

中圧： $P=2.5\sim 10(\text{MN}/\text{m}^2)$

高圧： $P=10\sim 20(\text{MN}/\text{m}^2)$

# 孔内水平載荷試験装置 概要



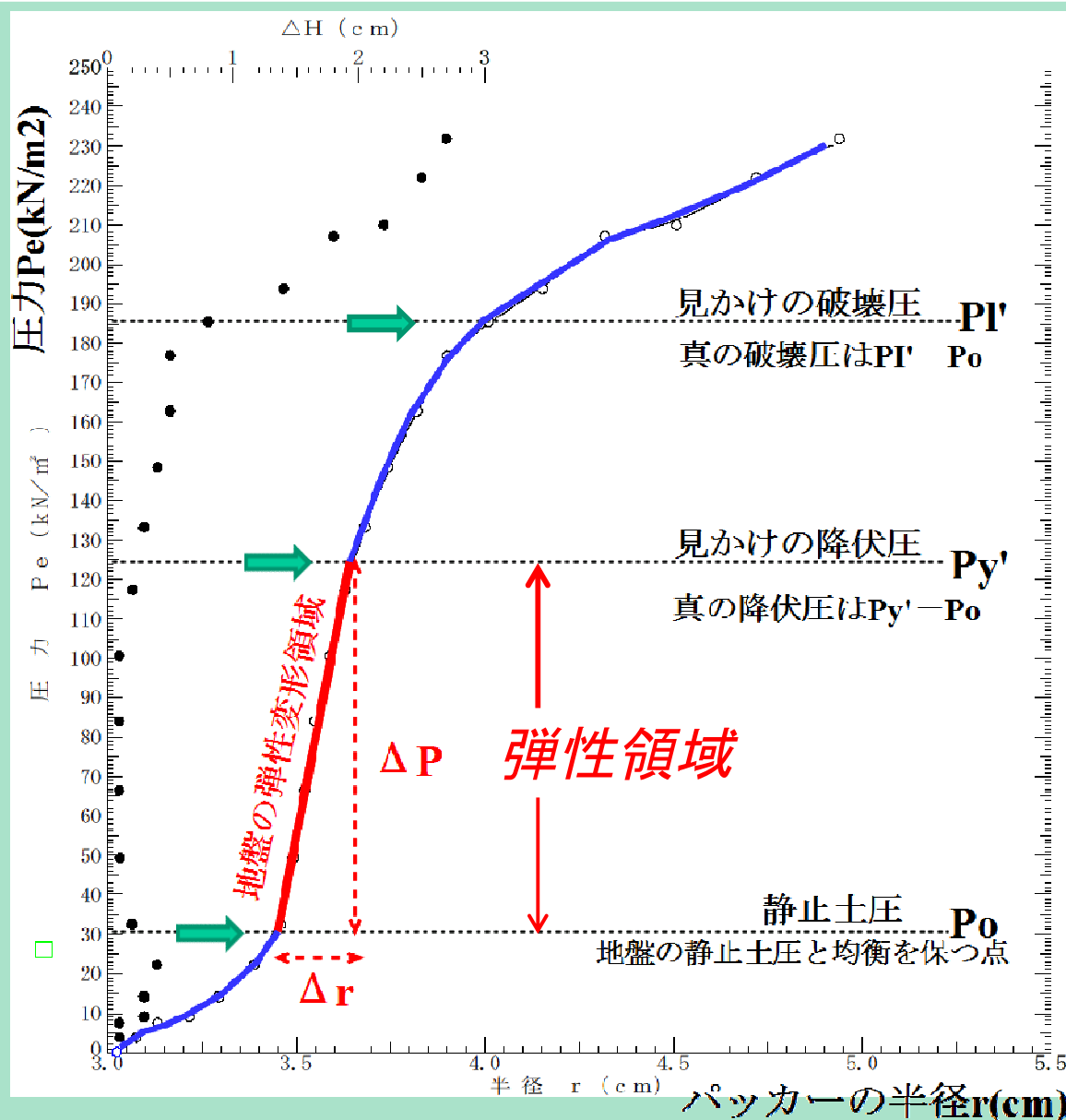
LLT-Sタイプ



# 孔内水平載荷試験(主にLLT)測定試験方法

- ① ゾンデ(ゴムパッカー)をボーリング孔内の**試験対象土層**に設置する。
- ② 加圧ガス(窒素)を用いて、**ゾンデを水平方向に加圧し、圧力と測定管の変位量**を計測する。
- ③ ガス圧を地盤の堅さに応じて段階的に増加させて、各圧力段階で、**圧力を1~2分間一定に保つ**。
- ④ 各圧力段階で生じる変形量を定時的に取り、**圧力 $P_e$ —ゾンデ半径 $r$ 関係**を整理する。
- ⑤ 圧力変位量 $\Delta P$ とゾンデ径の変位量 $\Delta r$ から**地盤係数 $K_m$ と弾性係数 $E_m$** を算出する。

# 測定例 シルト質粘土 N値=4



破壊圧  $P_{I'}=153$ (kM/m<sup>2</sup>)

降伏圧  $P_{y'}=92$ (kM/m<sup>2</sup>)

静止土圧  $P_o=32$ (kM/m<sup>2</sup>)

地盤反力係数  $K_m=47$ (kM/m<sup>2</sup>)

**弾性係数  $E_m=2173$ (kM/m<sup>2</sup>)**

※N値からの推定値は2800(kN/m<sup>2</sup>)

**地盤反力係数  $K_m = \Delta P / \Delta r$**

**弾性係数  $E_m = (1 + \nu) \times r \times K$**

$\nu$ : ポアソン比(0.3~0.5)

$r$ : K値算出区間の中華半径

# 孔内水平載荷試験 計測結果

- 静止土圧  $P_0$
- 降伏圧  $P_y = P_y' - P_0$
- 破壊圧  $P_I = P_I' - P_0$
- 地盤反力係数  $K_m = \Delta P / \Delta r$ 
  - ※ (Pe-r曲線)直線部で計算
- 弾性係数  $E_m = (1 + \nu) \times r \times K_m$ 
  - $\nu$ :ポアソン比(0.3~0.5を採用)

## 変形係数EとN値の関係

- N値からの弾性係数 $E_m$ の推定は

$$E_m = 700 \times N \quad (\text{kN/m}^2)$$

採用されるケースが多い。

- N値からの推定値は、実測値とのバラツキが多い

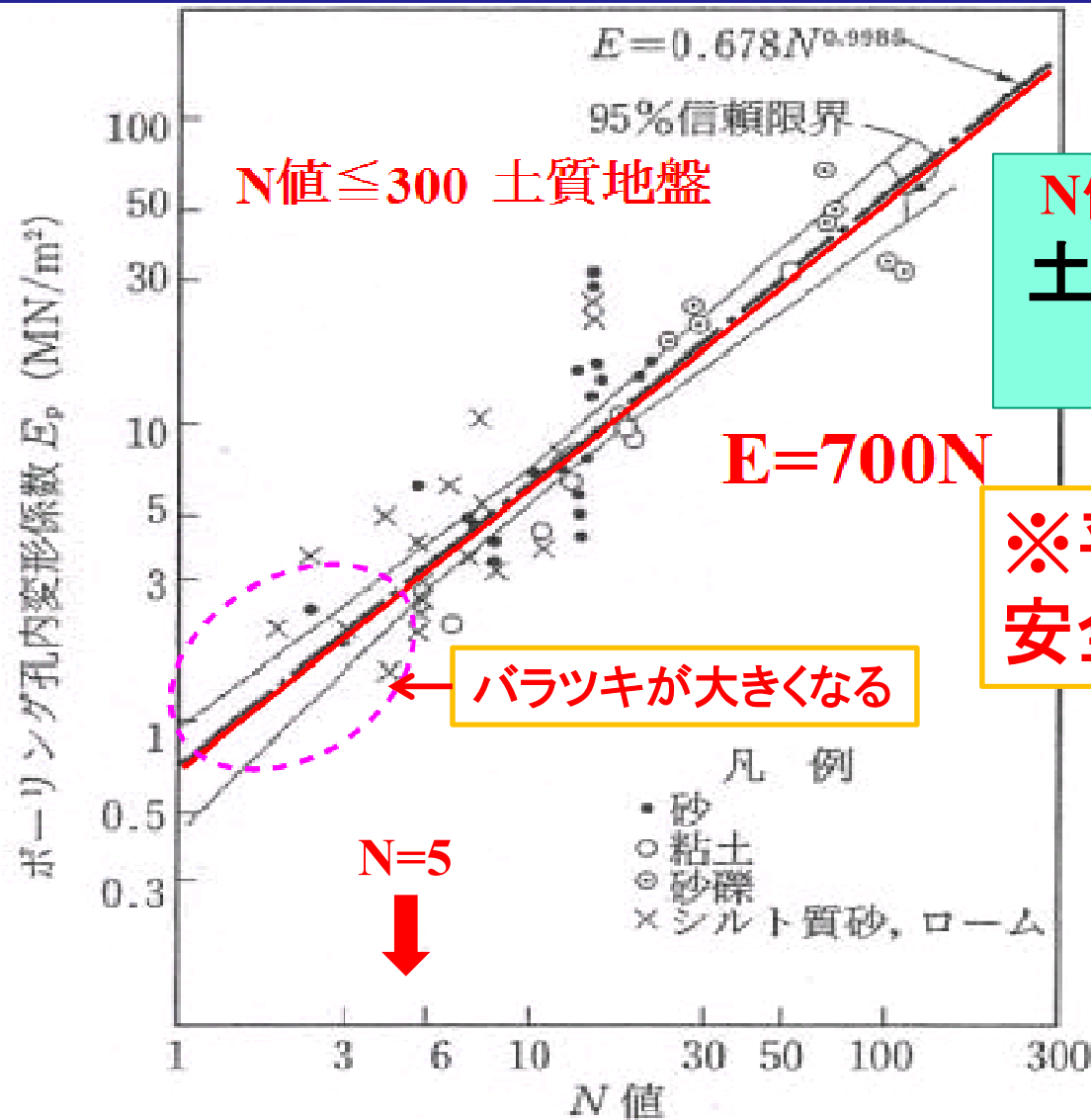
道路橋示方書 下部構造編 p142では

N値が5未満の軟弱層は、土質に関わらず

バラツキが著しいため、N値から変形係数を推定することは適切でないとされている。

原位置での孔内水平載荷試験や乱れの少ない試料による室内試験により変形係数を求めることがよいと記載されている。

# N値と孔内水平載荷試験Eの関係 土質地盤

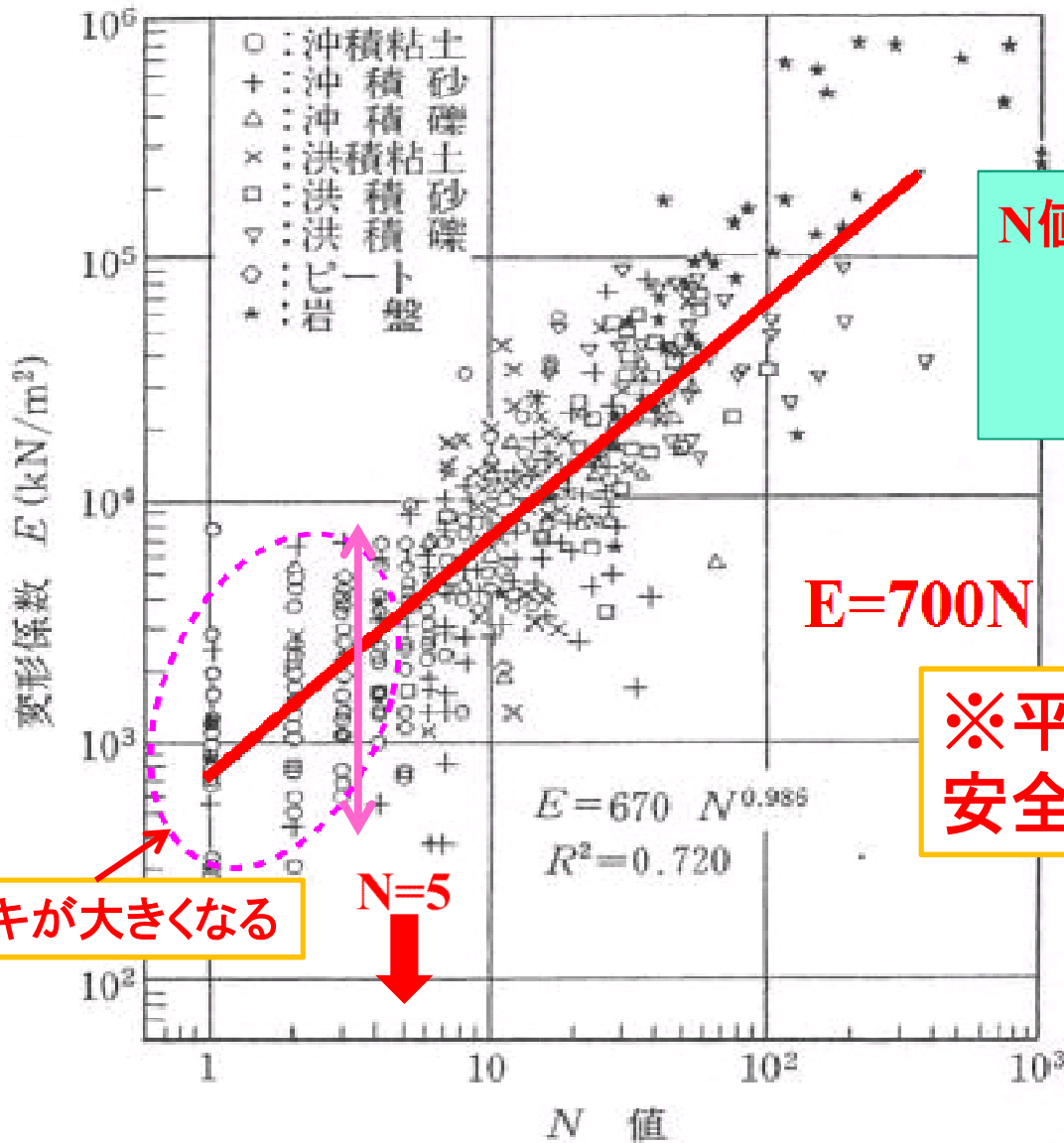


N値と孔内変形係数の関係  
土質地盤  $N$  値  $\leq 300$

※平均的な相関  
安全側の推定式でない

図-6.2.37  $N$  値とボーリング孔内変形係数  
(吉中<sup>58)</sup>に加筆修正)

# N値と孔内水平載荷試験Eの関係 土質～岩盤地盤



N値と孔内変形係数の関係  
土質～岩盤地盤  
N値 ≤ 1000

$E=700N$

※平均的な相関  
安全側の推定式でない

バラツキが大きくなる

N=5

図-6.9.2 孔内載荷試験より得られた変形係数と N 値との関係 (土谷・豊岡<sup>21)</sup>に加筆修正)

# 結果の利用と留意事項

- ・ 試験結果は主に以下の検討基礎資料となる。
  - ・ 杭の水平許容支持力、変位量
  - ・ 鋼矢板の変位量、矢板断面
  - ・ 既設構造物で近接掘削を実施する場合に地盤変位の影響度を判定する。
- ・ N値からの推定値は、実測値とのバラツキが多い。  $E_m=700N (km/m^2)$ 
  - ※平均的な相関安全側の推定式でない