



建設ICTマスター養成講座
基礎養成編 選択分野別ソフトウェア実習

地盤材料特性 とパラメータの決め方

内容:

書籍:主に第4章、第5章をご参照

- 弾性モデルのパラメータの決め方
- 弾完全塑性モデルのパラメータの決め方
- 非線形弾性モデル:破壊接近度法(電中研方式)

土の構成モデルの現況

● 古典的な構成モデル

1. 線形弾性
2. 弾完全塑性
3. 非線形弾性

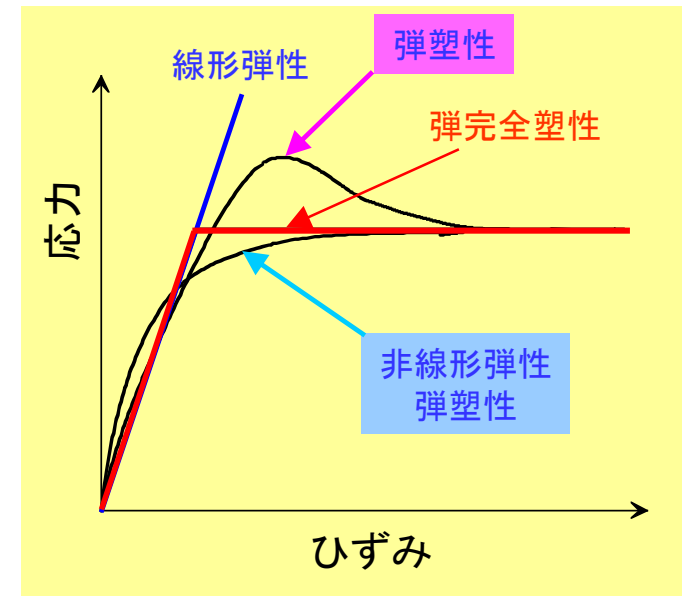
← 本対象製品
にある構成
モデル

● 近代的な構成モデル

1. カムクレイモデル
2. コーン・キャップモデル

● Advanced構成モデル

1. 拡張した硬化コンセプト(コンバインド、ダブル、移動)
2. 境界曲面モデル(Bounding surface model)
3. 下負荷面モデルと上負荷面モデル
4. 一般化塑性モデル(PZ-Sandモデル) ←



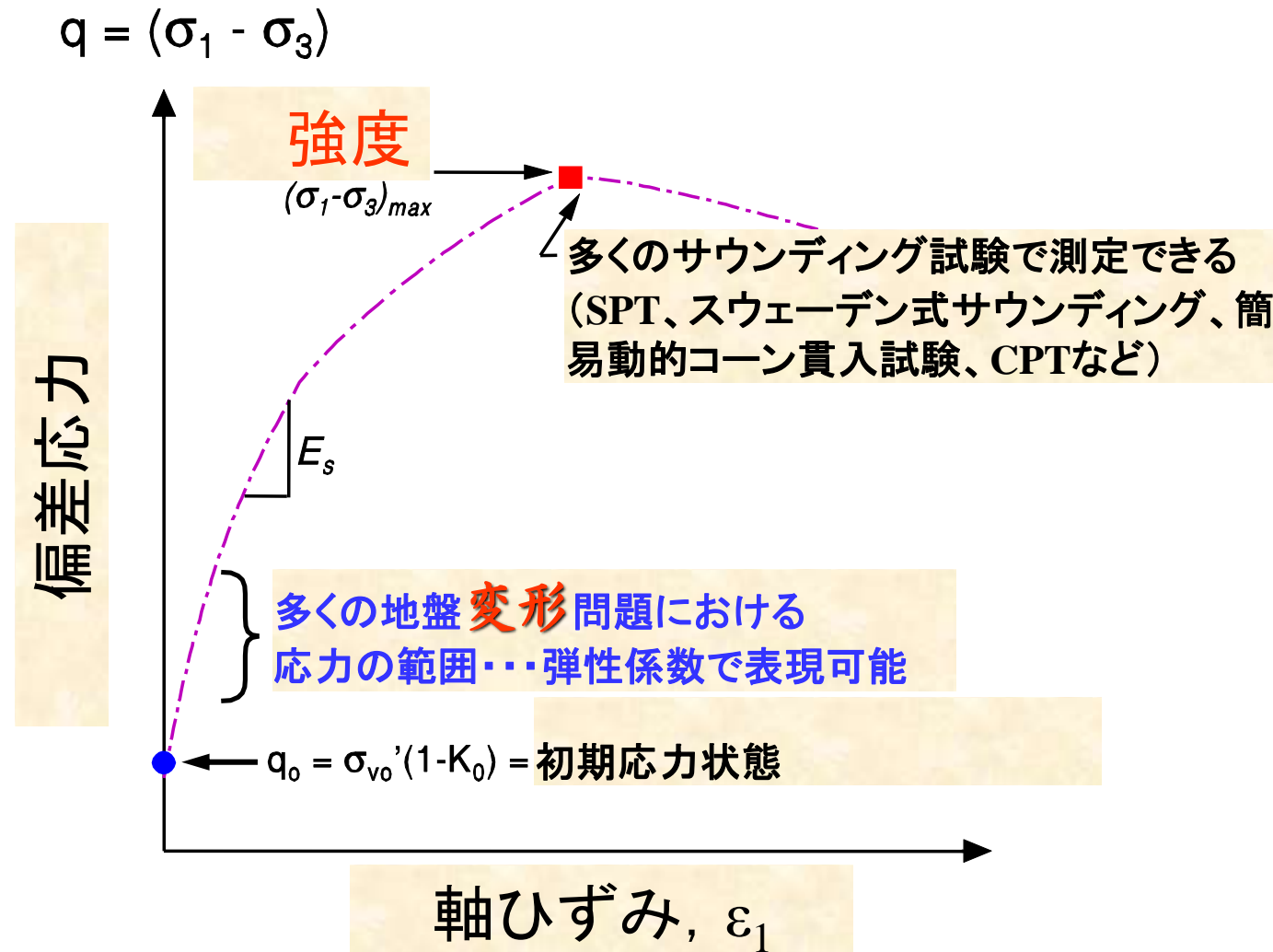
製品で中で選べる構成モデル

- 線形弾性
等方性材料
- 非線形弾性
破壊接近度法(電中研方式)(主に岩盤)
- 繰り返し非線形モデル
HD、RO、UW(動的解析の初期応力計算。応答震度法)
- 弾完全塑性モデル
MC、DP、MC-DP(土の極限状態の応力を計算したい場合、
斜面安定、極限支持力、土圧など)

そのほか、弾塑性モデル

PZ-sand、PZ-clayなど、応力～ひずみ関係を表現できる。しかしパラメータを決めるには、三軸実験などが必要なため、実務では適用しにくい。

等価弾性係数

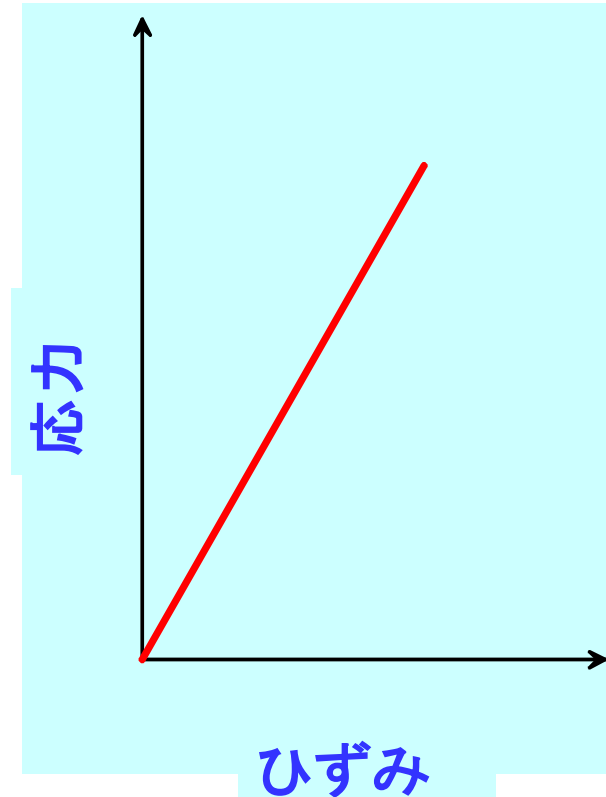


等方線形弾性構成則

弾性の場合(フックの法則):

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_x = \frac{1}{E} \sigma_x - \frac{\nu}{E} (\sigma_y + \sigma_z) \\ \varepsilon_y = \frac{1}{E} \sigma_y - \frac{\nu}{E} (\sigma_z + \sigma_x) \\ \varepsilon_z = \frac{1}{E} \sigma_z - \frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \\ \gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy} \\ \gamma_{yz} = \frac{1}{G} \tau_{yz} \\ \gamma_{zx} = \frac{1}{G} \tau_{zx} \end{array} \right.$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$



等方線形弾性構成則

1. ヤング率 E
2. ポアソン比 ν

2つの定数によって応力とひずみを関係づけられる

等方線形弾性構成則

ポアソン比

経験値

1. 粘性土: $\nu=0.35\sim0.49$
2. 砂質土: $\nu=0.25\sim0.35$

静止土圧係数から算定

$$\nu = K_0 / (1 + K_0)$$

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

$$\nu = (1 - \sin \phi') / (2 - \sin \phi')$$

文献

規準	ポアソン比
港湾の施設の 技術上の規準	飽和非排水条件: $\nu=1/2$ 程度 その他の条件: $\nu=1/3\sim1/2$
建築基礎構造 設計指針	飽和粘性土: $\nu=1/2$ 程度 砂: $\nu=0.25\sim0.35$ 、通常は0.3 関東ローム: $\nu=0.3$ (通常) $\nu=0.15$ (間隙比が大きく、強度が低い場合)

ポアソン比

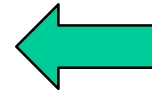
		標準N値	ポアソン比
粘性土 地 盤	軟らかい	0～4	0.45
	中位の	4～8	0.45
	堅い	8～15	0.40
	非常に堅い	15以上	0.35
砂質土 地 盤	緩い	0～10	0.40
	中位の	10～20	0.35
	やや密な	20～30	0.35
	密な	30～50	0.30
	非常に密な	50以上	0.30
岩盤	－	－	0.25

トンネル標準示方書(開削工法編)H8.P266

等方線形弾性構成則

ヤング率もしくは変形係数

- ① 剛体円板による平板載荷試験(E_r)
- ② 孔内水平載荷試験(E_B)
- ③ 供試体の一軸または三軸圧縮試験(E_c)
- ④ 標準貫入試験のN値より $E=2800N(\text{kN/m}^2)$ で求めた変形係数(E_N)
- ⑤ PS検層



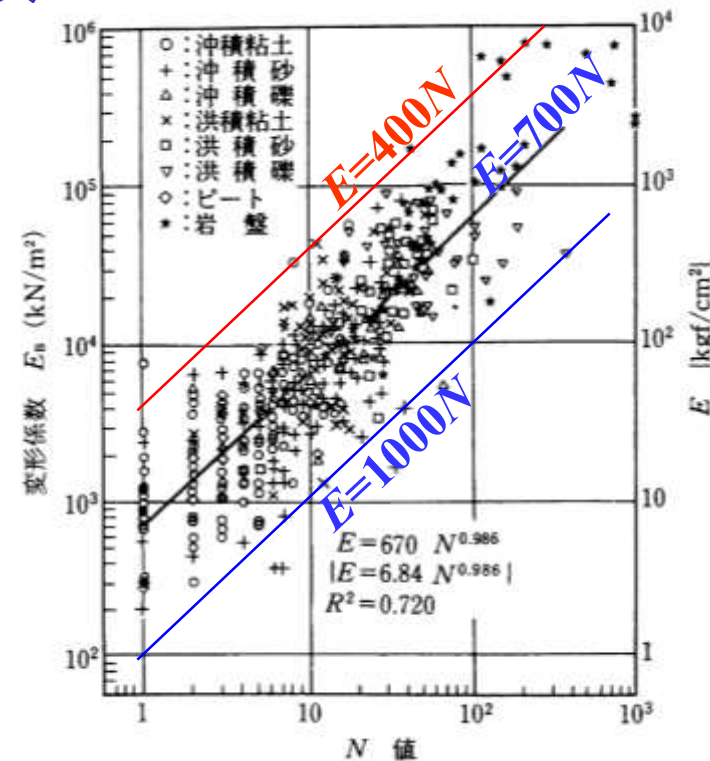
もっともよく用いられる方法

異なる方法による変形係数の間の関係？

等方線形弾性構成則

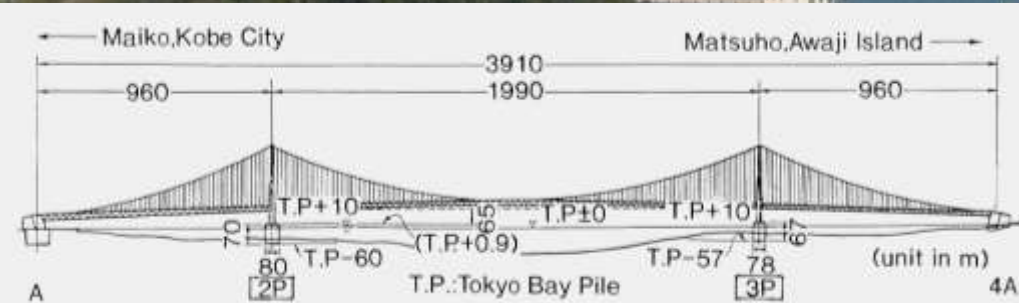
ヤング率もしくは変形係数

- 孔内水平載荷試験から得られた変形係数 E と標準貫入試験の N 値の関係については、地盤材料に関わらず $E=700N$ (kN/m^2) という関係が近似的に成立している。地盤調査法 平成16年版(地盤工学会)



孔内水平載荷試験より得られた変形係数と N 値との関係(土谷ら、1980)

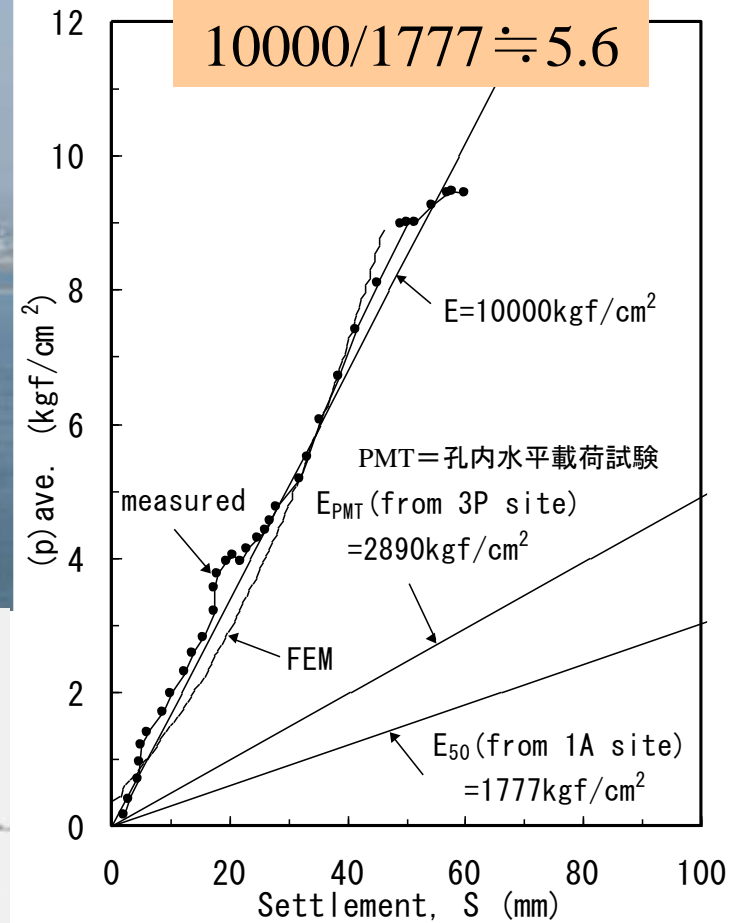
等方線形弾性構成則



明石海峡大橋(龍岡より)

$$10000/2890 \div 3.5$$

$$10000/1777 \div 5.6$$



等方線形弾性構成則

ヤング率もしくは変形係数

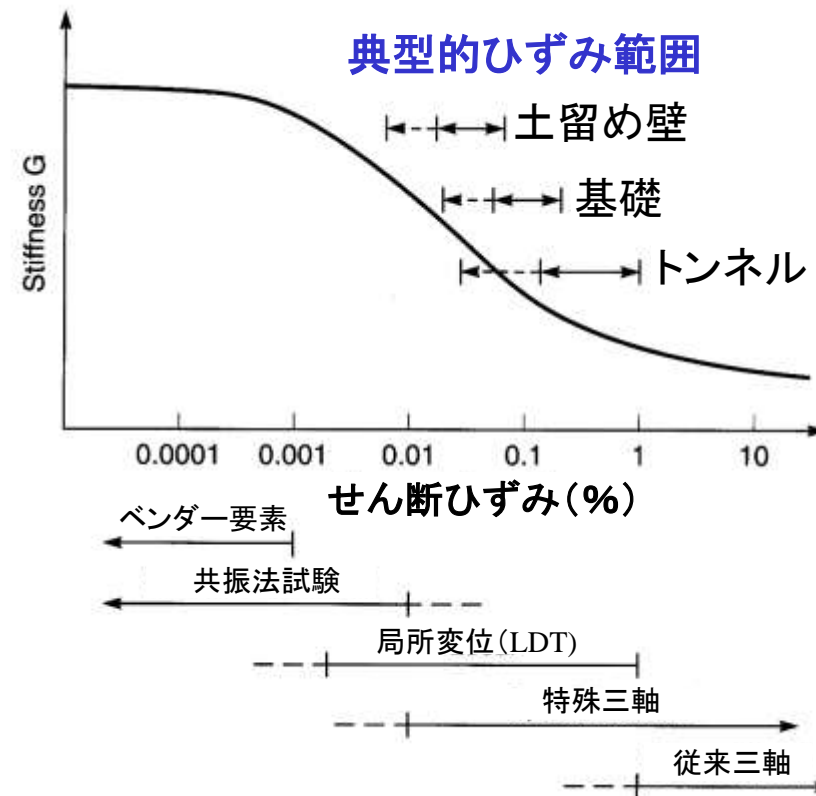
地盤の変形係数 E_0 と α （道路橋示方書H29, p.188）

変形係数 E_0 の推定方法	地盤反力係数の推定に用いる係数 α	
	常時	地震時
直径0.3mの剛性円板による平板載荷試験の繰返し曲線から求めた変形係数の1/2	1	2
孔内水平載荷試験で測定した変形係数	4	8
供試体の一軸圧縮試験又は三軸試験から求めた変形係数	4	8
標準貫入試験の N 値より $E_0=2800N$ で推定した変形係数	1	2



FEMでは常時、地震時の区別はなく、常時の値を用いる

等方線形弾性構成則



異なる試験法の測定可能なひずみレベル
(Pottsら、2002)

等方線形弾性構成則

N 値と弾性係数の経験的な関係式（地盤工学会の表に加筆）

N 値と変形係数の関係 (kN/m^2)	適用実績、指針	摘要
$E=700N$	土木研究所資料	トンネル解析での実績多し、 E_{50} 相当
$E=1400N$	建築基礎構造設計指針	地下水の無い場合の正規圧密砂、過圧密の地下水位以下の砂
$E=2100N$	鉄道構造物等設計標準	主に砂質土
$E=2500N$	近接施工技術総覧 鉄道構造物等設計標準	砂質土に適用（シールド解析）
$E=2800N$	道路橋指方書 鉄道構造物等設計標準	主に砂質土（特に洪積砂層が対象）
$E=500N+6900$	土木研究所資料 近接施工技術総覧	N 値10以下の粘性土に適用、沖積砂質土にも適用

N 値より変形係数の決め方

- ① 工事周辺地盤に生じるひずみレベルを見当づける。
- ② 規準・指針に規定されている式を用いる。
- ③ 類似地盤に適用実績がある値を参照して決める。

弾完全塑性モデル(MCモデル)

粘着力 c と内部摩擦角 ϕ が必要

室内試験: 一軸圧縮試験

一面せん断試験

三軸圧縮試験(UU、CU、CD)

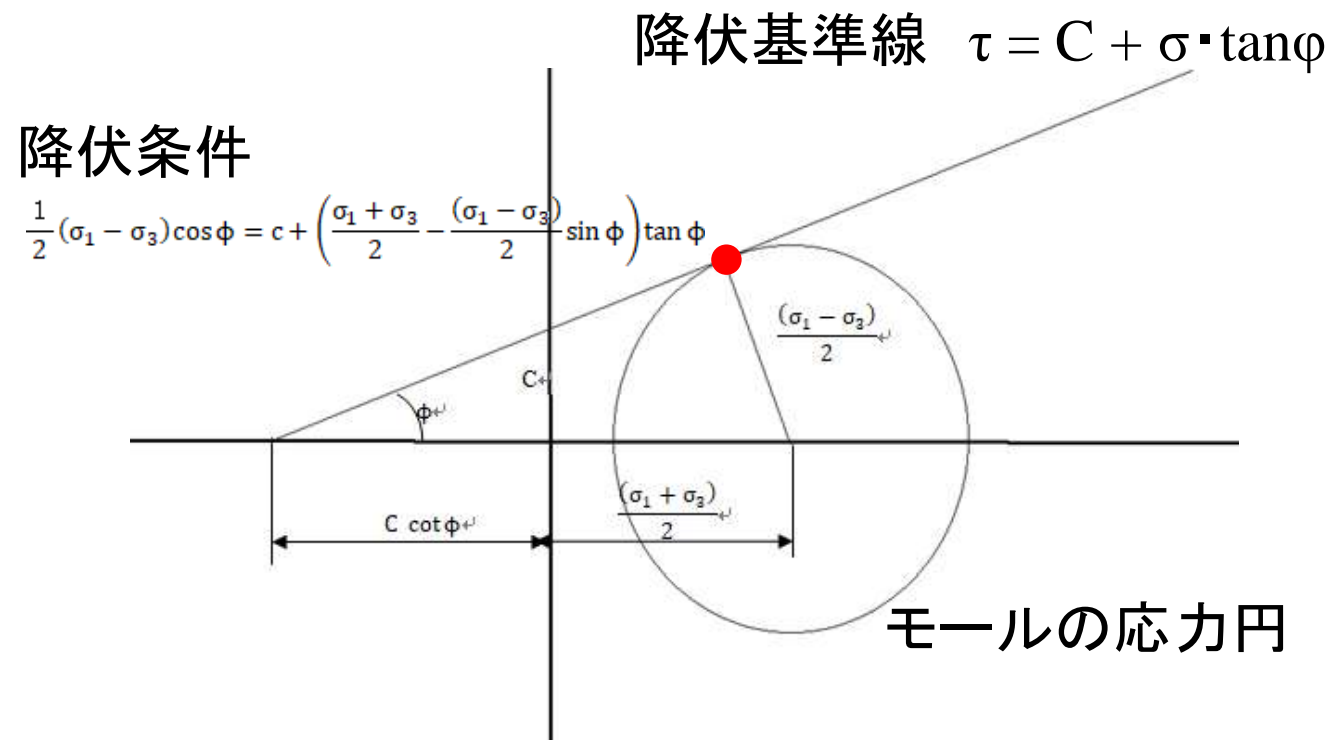
N値:

表 5.1 N 値と $\phi \cdot q_u \cdot c$ との関係式一覧表

出典	ϕ (°)	q_u (kN/m ²)	c (kN/m ²)
地盤調査法 (Terzaghi Peck)		$12.5 N$	
Peck	$27 + 0.3 N$		
Dunham	$\sqrt{12 N} + (15 \sim 25)$		
大崎	$\sqrt{20 N} + 15$	$40 + 5 N$	
建築基礎構造 設計指針	$\sqrt{20 N} + 15$		
道路橋示方書 (1996)	$15 + \sqrt{15 N}$		$(6 \sim 10) N$
道路橋示方書 (2002)	$\phi = 4.8 \log N_1 + 21$ $N_1 = 170 N / (\sigma'_v + 70)$ $\sigma'_v = \gamma_{t1} h_{w1} + \gamma t^1 (x - h_w)$		土質試験による
鉄道構造物等 設計標準	$\phi = 1.85 \left(\frac{N}{(\sigma'_v / 100) + 0.7} \right)^{0.6} + 26$		

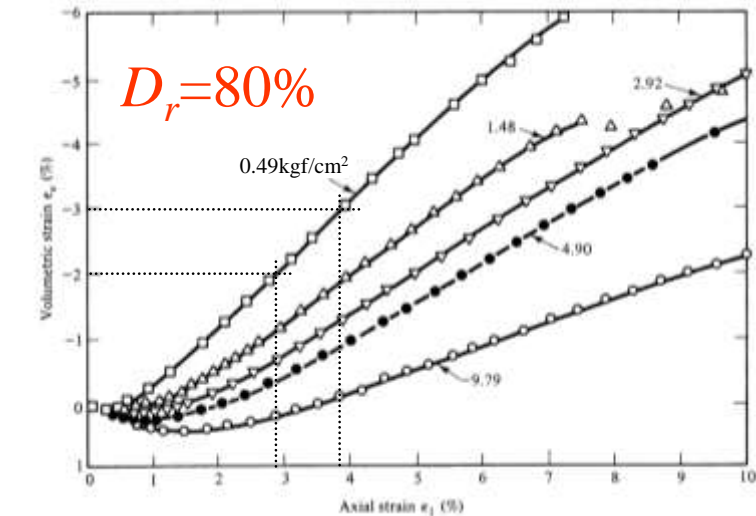
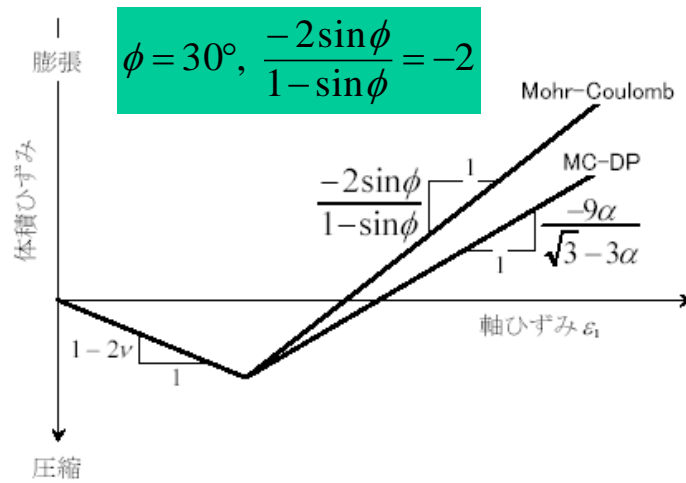
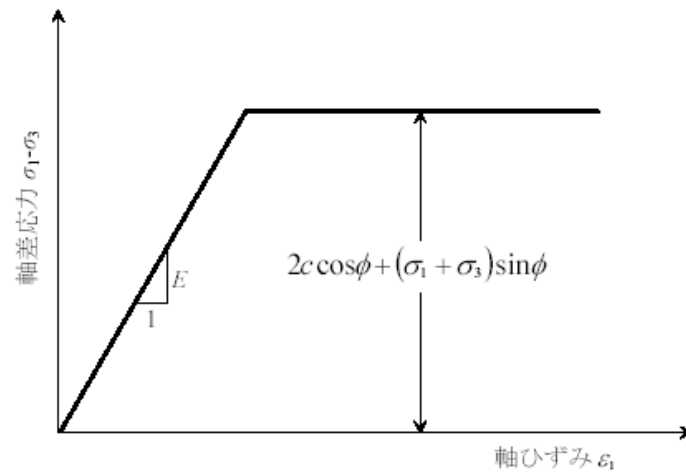
N値と $c \cdot \phi$ の活用法、地盤工学会、1998.
改訂N値の話、理工図書、2004.

弾完全塑性モデル-降伏条件

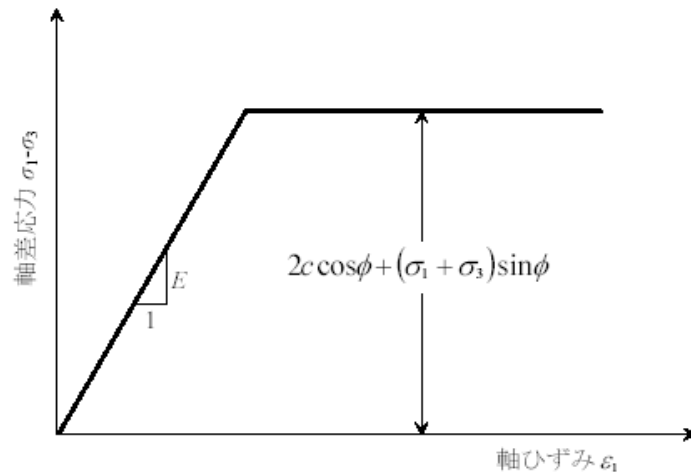


応力状態が降伏条件に達する(赤点)と塑性に至る

弾完全塑性モデル



弾完全塑性モデル



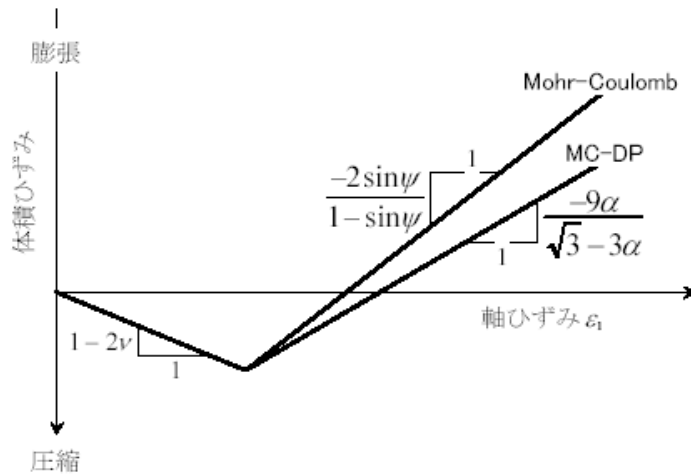
ダイランシー角 ψ

粘性土地盤: $\psi=0$

砂地盤: $\psi=\phi'-30^\circ$

安定計算時: $\psi=0$

変形計算時: $\psi=\phi$



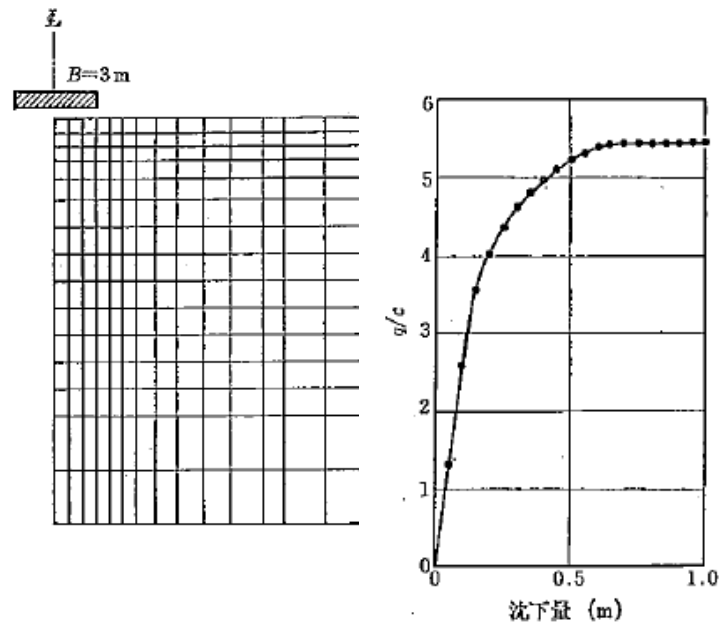
相対密度 D_r と N 値の関係:

$$D_r = 21 \left(\frac{N}{\sigma'_v + 0.7} \right)^{0.5} (\%)$$

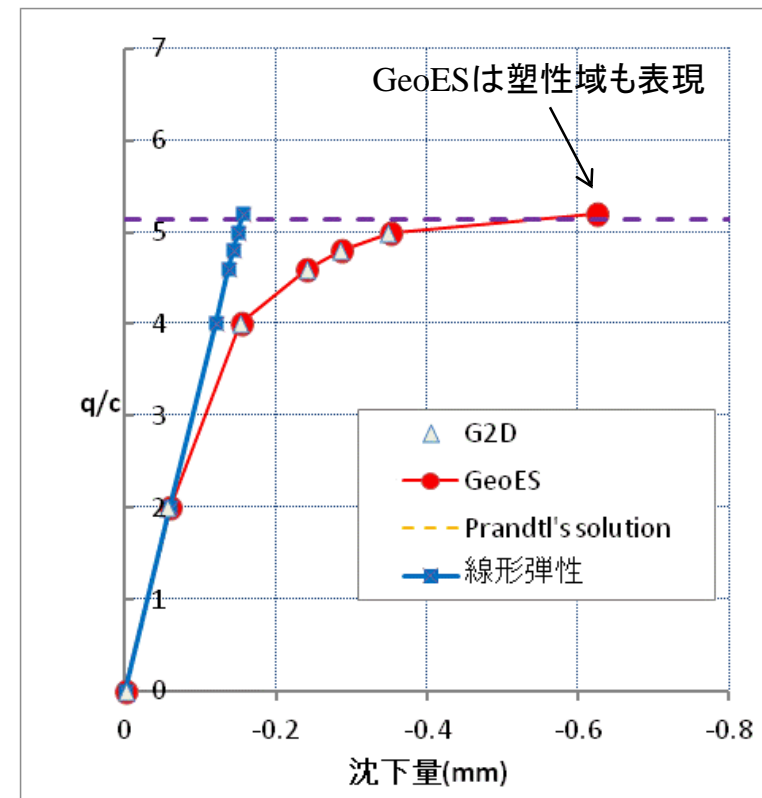
σ'_v : 有効土被り圧 (kgf/m²)

(Meyerhof, 1957)

帯基礎の支持力問題への適用



弾完全塑性を用いて支持力を表現できる-理論解と一致



破壊接近度法(電中研方式)

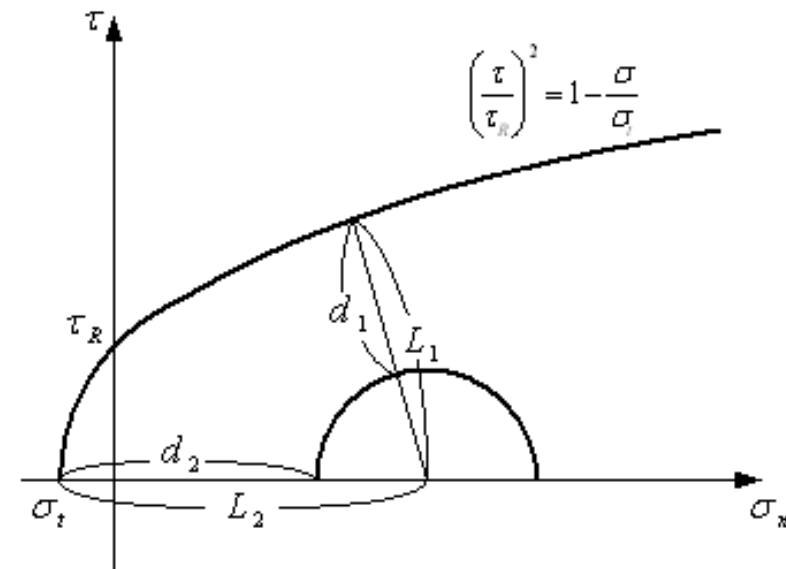
せん断強度:

$$\tau = \tau_R \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_t} \right)^{\frac{1}{a}} \quad (\sigma_t < 0)$$

破壊接近度(破壊余裕度)は、
応力と破壊基準より定義される

$$R = kR' = k \min \left\{ \frac{d_1}{L_1}, \frac{d_2}{L_2} \right\}_0$$

ここに、 k : 緩み定数



$$\frac{D - D_f}{D_0 - D_f} = \begin{cases} 1 & (R \geq 1) \\ R^m & (0 < R < 1) \\ 0 & (R \leq 0) \end{cases} \quad \frac{\nu - \nu_f}{\nu_0 - \nu_f} = \begin{cases} 1 & (R \geq 1) \\ R^n & (0 < R < 1) \\ 0 & (R \leq 0) \end{cases}$$

ここで、
 D : 変形係数
 μ : ポアソン比
 m, n : 非線形特性指数

初期変形係数と非線形指数 a , 弾性限界パラメータ k の標準値

初期変形係数 D_0 (MPa)	弾性限界パラメータ k (緩み定数)	非線形指数 a
$10 \leq D_0 < 100$	2.0	1.0
$100 \leq D_0 < 1000$	4.0	2.0
$1000 \leq D_0 < 10000$	6.0	3.0
$10000 \leq D_0$	8.0	4.0

(日本道路公団試験研究所:都市部NATMトンネル解析的設計の手引き、技術資料、2002年。)

『Ⅱ. FEM解析の手順』編の説明は以上となります。