

はじめに：本報告はここに提示した軟弱地盤上に

盛土を建設する際の施工管理図(図1)についてその妥当性と定性的傾向を解析したものである。

応力-ひずみ関係：応力-ひずみ関係を論ずる規模は、盛土が載荷された地盤の大きさで、と論

じることとする(図2)。ここで、軸対称条件下において、変形前($t=0$)→変形後($t=t$)地盤

の高さ、断面積、半径を L_0, A_0, R_0, L, A, R とする。また、応力、ひずみの方向性は圧縮側をプラス、単位体積当たりの変形仕事率

体積変形部分 $\dot{W}_v = \dot{\sigma}_v \dot{\epsilon}_v = \frac{1}{3}(\dot{\sigma}_1 + 2\dot{\sigma}_2)\dot{\epsilon}_1 + \dot{\epsilon}_2$ (1)

形状変形部分 $\dot{W}_s = \dot{\sigma}_1 \dot{\epsilon}_1 + 2\dot{\sigma}_2 \dot{\epsilon}_2 = \frac{1}{3}(\dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_2)(\dot{\epsilon}_1 - \dot{\epsilon}_2)$ (2)

結局、変形仕事率 $\dot{W} = \dot{W}_v + \dot{W}_s = \dot{\sigma}_1 \dot{\epsilon}_1 + 2\dot{\sigma}_2 \dot{\epsilon}_2$ (3)

すなわち、ある圧縮力を加える軟弱地盤は規模に適用する。一端固定、長さ L の位置にある他端の $u(x) = \frac{\sigma L}{E}$ と変形するものと考えられる。圧縮ひずみ ϵ_1 は $\epsilon_1 = \ln(L/L_0)$ (4)

圧縮ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_1$ は $\dot{\epsilon}_1 = -\alpha(\ln L - \ln L_0)/\alpha t = -\frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = +\frac{v(x)}{L}$ (5)

体積圧縮ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_v$ は $\dot{\epsilon}_v = \dot{\epsilon}_1 + 2\dot{\epsilon}_2$ (6)

体積 V は $V = A \cdot L \ln V = \ln A \cdot \ln L$ (7)

微分形になおして(圧縮側正として) $-\frac{1}{V} \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{A} \frac{dA}{dt} - \frac{1}{L} \frac{dL}{dt}$ (8)

また(1)(2)は $\dot{W}_v = \frac{1}{3}(\dot{\sigma}_1 + 2\dot{\sigma}_2)(-\frac{1}{A} \frac{dA}{dt} - \frac{1}{L} \frac{dL}{dt})$ (9), $\dot{W}_s = \frac{1}{3}(\dot{\sigma}_1 - \dot{\sigma}_2)(\frac{1}{A} \frac{dA}{dt} - \frac{1}{L} \frac{dL}{dt})$ (10)

応力-ひずみ時間関係も一般化、モデル化するため、軟弱地盤上に載荷された盛土の沈下曲線を検討する。とくによければ、沈下曲線に瞬間弾性、遅延弾性、粘性流小を有している。ただ、 d は体積変形と形状変形を重ね合わせた状態と出現するため、第一近似として、体積変形、形状変形は同じような変形等価するものとする。

これを検証として、実際の地盤変形は、BurlandやWalkerの試験より体積変形、形状変形、時間関係を整理すれば図3のようになる。ここで図3を参照して、体積変形は図4(a)より $\epsilon_v = \frac{\sigma_m}{K_k} \{1 - \exp(-K_k/k t)\} + \frac{1}{E_N} \sigma_m t$ (11)

形状変形は図4(b)より $\epsilon_s = \frac{\sigma_1}{E_N} + \frac{\sigma_2}{E_k} \{1 - \exp(-\frac{E_k}{k} t)\} + \frac{\sigma_1}{\lambda_H} t$ (12)

よって(9)は $\dot{W}_v = \frac{1}{3}(\dot{\sigma}_1 + 2\dot{\sigma}_2) \left[\frac{1}{E_N} + \frac{1}{E_k} \{1 - \exp(-\frac{E_k}{k} t)\} \right]$ (13)

降伏条件、破壊標準の考え方；力学的降伏、破壊条件はHencky-Huberの標準と拡張したReiner-Waisenbergのレニエ-エンスの概念を引用する。すなわち、変形は形状変形と体積変形、 ϵ_v, ϵ_s

に分けられるわけであるが、Reiner-Waisenbergの破壊標準として

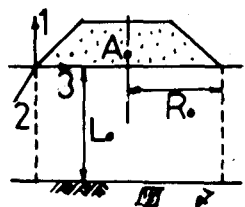
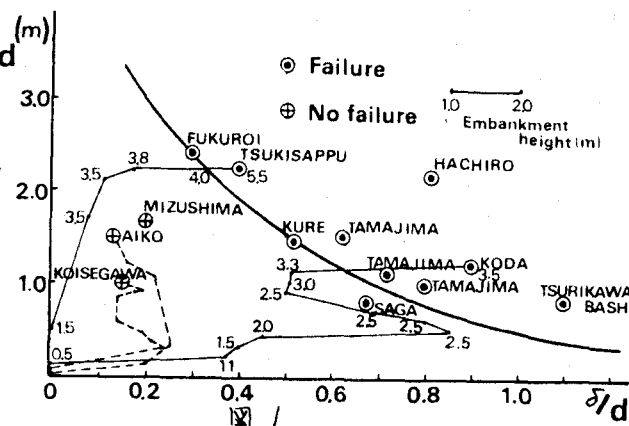
単位体積中に蓄えられる弾性形状ひずみエネルギーに注目した、

Burgess bodyの降伏、破壊条件；前述したように、形状変形をBurgess

bodyで仮定したため、Burgess bodyの破壊レニエ-エンスをここで定義す

る。Burgess bodyは同知のように、Maxwell要素とlog要素が直列に

つながったモデルであるため、このどちらか一方の破壊は、も



はヤンゲンボディは破壊すると考えられる。いま、Maxwell要素の破壊条件は $\sigma_{0c} = \sqrt{2 E_H E_F} \quad (12)$

この破壊するときの変形速度 $\dot{\epsilon}_{0c} = \frac{\dot{\sigma}_{0c}}{E_H} + \frac{1}{\lambda H} \sqrt{2 E_H E_F}$ 定荷重 $\dot{\sigma}_{0c} = 0$ のときは

$$\dot{\epsilon}_{0c} = \frac{1}{\lambda H} \sqrt{2 E_H E_F} \quad \therefore \dot{\epsilon}_{0c} = \dot{\epsilon}_{0cs} + \frac{\dot{\sigma}_{0c}}{E_H}$$

Voigt要素の破壊条件 $\dot{\epsilon}_{0c} = \sqrt{2 E_F \nu / E_K} \quad (13)$, $\dot{\epsilon}_{0c} = 0$ 静的試験における破壊時の偏

差応力 σ_{0cs} とすれば $\dot{\sigma}_{0cs} = \sqrt{2 E_K E_F \nu}$ また, $\dot{\sigma}_{0c} = \dot{\sigma}_{0cs} + \lambda K \dot{\epsilon}_{0c} \quad (14)$

今までの研究成果より考察すれば, 多少の土はVoigt要素を通じて破壊するといふことがいえるであろう。たとえば(14)より, 破壊荷重がひずみ速度によって変化するといふことは過去の経験から知られている。Shampton, Taylor, Caragrandeの試験結果をまとめたひずみ速度による破壊時の応力影響はまさにこの事実をものかたしている。

$$\text{圧縮変形速度 } \dot{\epsilon}(t) \text{ は (5) より } \dot{\epsilon}(t) = \dot{\epsilon}_1 \cdot L, \text{ かつ } \dot{\epsilon}(t) = \left\{ \frac{\dot{\sigma}_m}{E_K} \exp(-\frac{K \lambda}{E_K} t) + \frac{\dot{\sigma}_m}{E_H} + \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} \right\} L \quad (16)$$

$$\text{一方, } \dot{\epsilon}_{0c} = \dot{\epsilon}_1 - \frac{\dot{\epsilon}_1}{\lambda H} \text{ より } \frac{\dot{\sigma}_m}{\lambda H} + \frac{\dot{\sigma}_m}{E_K} e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t} = \frac{1}{3} \left(\frac{\dot{\sigma}_m}{E_K} e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t} + \frac{\dot{\sigma}_m}{E_H} \right) + \frac{1}{A} \frac{dA}{dt} \quad (17)$$

$$(16)(17) \text{ より横方向の変位と沈下は } A = A_0 e^B \quad (18), L = L_0 e^C \quad (19) \quad \therefore B = \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{E_H} + \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t}) + \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{\lambda H} \left\{ \frac{\dot{\sigma}_m}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t}) + \frac{\dot{\sigma}_m}{E_H} \right\} \\ C = - \left\{ \frac{\dot{\sigma}_m}{E_H} + \frac{\dot{\sigma}_m}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t}) + \frac{\dot{\sigma}_m}{\lambda H} \right\} - \frac{1}{3} \left\{ \frac{\dot{\sigma}_m}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t}) + \frac{\dot{\sigma}_m}{E_H} \right\}$$

さて, 図1(a)~(d)の施工管理図に前記の(18)(19)を適用する。こゝでは圧縮側, すなわち破砕側。

$$\frac{R}{L} = \frac{R_0 e^B}{L_0 e^C} = \frac{R_0 + \dot{\sigma}}{L_0 - \dot{\sigma}} \quad \text{変形して } d = \frac{R_0 \{ \exp(B-C) - 1 \}}{(\dot{\sigma}/d) + (R_0/L_0) \exp(B-C)} \quad (20) \quad \text{さらに破壊時の } (d_f \sim d_{fs}) \text{ の関係は}$$

$$d_f = \frac{R_0 \{ \exp(B_f - C_f) - 1 \}}{(\dot{\sigma}_f/d_f) + (R_0/L_0) \exp(B_f - C_f)} \quad (21) \quad B_f, C_f; A = A_f \rightarrow B, C \text{ の値}$$

すなわち, ある一つの盛土破壊例は $(d \sim d_f)$ の施工管理図において時間を経過しながら変形を大きくする方向で(20)を満足する曲線上を移動し, ついに(21)の曲線上で破壊することになる。

各種盛土の破壊例に(20)と式(21)をあてはまるかどうか検討してみる。まず式(21)の $\exp(B_f - C_f)$ の項を検討する。 $B_f - C_f = 2 \left\{ \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_f}}{E_H} + \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_f}}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t_f}) + \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_f}}{\lambda H} \right\} - \frac{1}{3} \left\{ \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t}) + \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{E_H} \right\} \quad (22)$ したがって, 各盛土に施工した軟弱層のレオロジー定数がほぼ近似的に同一視できると仮定して次の議論を行なう。各盛土において,

$$\dot{\epsilon}_{0c} = \frac{\dot{\sigma}_{0c}}{E_K} (1 - e^{-\frac{K \lambda}{E_K} t_f}) = \sqrt{2 E_F / E_K} = \text{const} \quad \text{前記の破壊規準より} \\ \text{また } \frac{\dot{\sigma}_{0c}}{E_K} \left\{ \frac{E_H}{E_K} - \frac{1}{(\lambda H K)} \ln \left(1 - \frac{\sqrt{2 E_F E_K}}{\dot{\sigma}_{0c}} \right) + \frac{\sqrt{2 E_F E_K}}{\dot{\sigma}_{0c}} \right\} - \frac{1}{3} \left\{ \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{E_K} \sqrt{2 E_F E_K} - \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{E_K} \exp \left(-\frac{K \lambda}{E_K} t \right) - \frac{\lambda K}{E_H E_K} \ln \left(1 - \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{\dot{\sigma}_{0c}} \sqrt{2 E_F E_K} \right) \right\} \\ = B_f - C_f \quad \therefore \frac{\dot{\sigma}_{0c}}{E_H} \approx 0, \ln \left(1 - \frac{\sqrt{2 E_F E_K}}{\dot{\sigma}_{0c}} \right) \approx \ln \left(1 - \sqrt{2 E_F E_K} \right), \frac{\sqrt{2}}{E_H} = \text{const} \frac{\sqrt{\dot{\sigma}_m}}{\dot{\sigma}_{0c}} = \text{const}, \exp \left(-\frac{K \lambda}{E_K} t \right) \approx a$$

すなわち上記を満足するようなレオロジー定数をとるとすれば, 式(21)の $\exp(B_f - C_f)$ はほぼ一定となる。しかし, 実際に各軟弱地盤と近似的に同じレオロジー定数をとるか, 疑問であるため, 実測値を a とし, 各レオロジー定数を求めてみた。

レオロジー定数を求めるのに使用した盛土の破壊例は, 幸田盛土と月寒川盛土である。すなわち, 幸田盛土は軟弱地盤の中で $C_u = 3.2$ と比較的高い軟弱層と

考えられ, 逆に月寒川盛土の軟弱層はほぼ泥炭層と極めて強度が低く, $C_u = 0.5 \sim 0.8$ ほどである。さ

ら, この3層の軟弱層の強度のほぼ上限と下限に存在していると考えられ, 他の軟弱層はよそから採

取の中間に位置するであろう。図5はこのレオロジー定数と実際の盛土の破壊履歴を参考にした盛土の諸元

式(21)に代入してえた図である。図5は多岐にわたり

はあが, さがらつきの場合は施工管理図として使用に耐えうるであろう。なお, 詳細につ

いは当日発表させていただきます。

