

〇 学生員 吉 川 三 郎
谷 川 義 行

ま え が き

先に著者の一人は、シラス盛土あるいは固結度の低い二次的堆積によるシラス層斜面の地震時における法局部の崩壊について、震度法に基づく慣性モーメントを考慮に入れた理論的解析法を提案し、二種類の強度定数と密度との値に対して、斜面高(H)および斜面傾斜角(α)を任意に与えた場合の限界水平震度(K_{lim})を求めるための計算図表を示しておいた。^{(1), (2)}

その後、著者らは、その計算過程で若干の疑義のあった地震力による慣性モーメントの回転中心のとり方や、崩壊角(θ)と崩壊高(h)との関係について再検討したうえで、さらに応範囲の任意の値の強度定数と密度とを与えた場合の計算法を確立し、それによ、てより実用的な計算図表を求めることができた。一方、実験的に崩壊高(h)ならびに崩壊発生までの限界震度(K_{hc})と振動時間(α)との関係を追求し、かなり興味ある事実を求めることができた。

今回は、第3報として以上の研究結果を報告することにした。

1 理論計算

1-1 崩壊形状の仮定と計算式

前論文において、理論解析の詳細を報告しておいたので、ここでは、その要約のみを説明しておく。すなわち、地震時の斜面内崩壊の発生条件は、斜角高 h 、斜面傾斜角 α 、地表面傾斜角 β 、シラスの強度定数 c と ϕ 、シラスの強度 r 、および水平震度 K_h の全てに関係するものとして、崩壊面を図-1に示すように平面と仮定した。

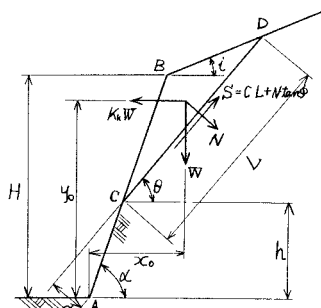


图-1

次に当然のことではあるが ある斜面条件が与えられた場合、震度 K_h が大なるほど崩壊しやすく、また逆に K_h が与えられた場合

には、 H 、 α 、および γ が大なるほど、そして c と ϕ が小なるほど崩壊しやすい、という前提条件のもとで、崩壊面の傾斜角 θ は K_0 に逆比例的に、また崩壊高 h は K_0 に比例的に変化すると仮定した。

この仮定の意味は、図-1 で示した様に、崩壊の起る下限の震度の δ とでは、 $h=0$, $\theta=\alpha$ で、こゝより K_h が大きくなるにつれて、 h は大きくなるが、 θ は小さくなり、全体として崩壊土量は K_h に比例的に大きくなるという事である。

この仮定のもとで、先に提案された n と k を求める理論計算式は次式で表わされる。

$$h = \frac{2}{\pi} \frac{\cos \theta \sin(\theta - \alpha) \left[(2k_h \tan \alpha - 1) \tan \alpha - \tan \alpha \right] / (\tan \alpha \tan \beta)}{\cos \theta \sin(\theta - \alpha) \left[k_h \cos(\theta - \beta) + \sin(\theta - \beta) \right] \left\{ \left[k_h \cos(\theta - \beta) + \sin(\theta - \beta) \right] \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right) + \sin \theta (\cos \beta - k_h \sin \beta) \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} \right) \right\} + \frac{\cos \theta \sin \theta}{\cos \beta} \left(\frac{1}{\tan \alpha} - k_h \right) \} \dots \quad (1)$$

$$H = \frac{2Cd \sin \alpha \cos \phi_0}{\tan(\alpha - \theta) [K_h \cos(\theta - \phi_0) + \sin(\theta - \phi_0)]} \left\{ 1 + \frac{\cos \phi_0 [(2K_h \tan(\alpha - 1) \tan \theta - \tan \alpha)] / (\tan \theta \tan \theta)}{3 \cos \theta \left\{ [K_h \cos(\theta - \phi_0) + \sin(\theta - \phi_0)] \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \sin \phi_0 (\cos \theta - K_h \sin \theta) \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \alpha} \right) + \frac{\cos \phi_0}{\cos \theta} \left(\frac{1}{\tan \alpha} - K_h \right) \right\}} \right\} \quad \dots (2)$$

ただし、これらの式は $\delta = 0$ の時についての式であり、記号はそれぞれ

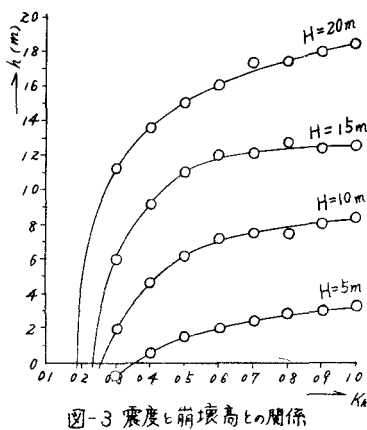
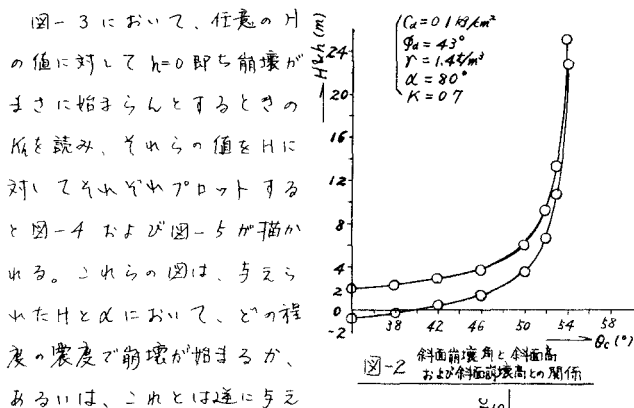
C_d : 粘着力 ϕ_0 : 内部摩擦角 δ : 密度 K_h : 水平震度である。

この式(2)は、地震時の有限長斜面の斜面内平面すべりを対象とした場合の安定を保ちうる限界高を求めるための基本式とでも言うべきものである。この式による計算結果を使用的にするため、また θ の範囲を検討するため、著者らは、これらの式にシラスの代表的な強度定数および密度を代入し、その条件のもとで震度 γ 崩壊角 θ をそれぞれ順次変化させて、 h と α の値を電子計算機で求めた。この計算に用いた条件は、

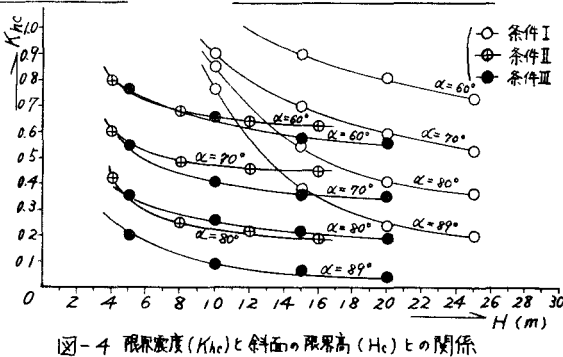
$$\begin{aligned} \text{(I)} \quad & \begin{cases} C_d = 0.5 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi_0 = 36^\circ \\ \gamma = 1.4 \text{ t/m}^3 \end{cases} & \text{(II)} \quad & \begin{cases} C_d = 0.1 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi_0 = 36^\circ \\ \gamma = 1.4 \text{ t/m}^3 \end{cases} & \text{(III)} \quad & \begin{cases} C_d = 0.1 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi_0 = 43^\circ \\ \gamma = 1.4 \text{ t/m}^3 \end{cases} & \text{(IV)} \quad & \begin{cases} C_d = 0.3 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi_0 = 40^\circ \\ \gamma = 1.4 \text{ t/m}^3 \end{cases} & \text{(V)} \quad & \begin{cases} C_d = 0.075 \text{ kg/cm}^2 \\ \phi_0 = 46^\circ \\ \gamma = 0.956 \text{ t/m}^3 \end{cases} \end{aligned}$$

これらの条件と任意に与えた K_h と α の値における H の曲線(図-2)、および各 K_h のときの任意の α の値に対応する θ の範囲を求めて、これらの値を H をパラメーターとして K_h に対して、それぞれプロットすると θ の曲線(図-3)が得られるが、今回は第2報と同様の処理を行った。

1-2 計算結果と考察



さらに震度と傾斜角によて、斜面崩壊角がどのように変化するか、ということ調べて



みると、表-1に示すようになる。この表で、 θ_{cl} は与えられた K_h と α のとき、崩壊が始まるときの崩壊角、つまり θ_c の下限値であり、 θ_{cu} は上限値を示している。例えば $\alpha=80^\circ$ の場合、崩壊は K_h が0.3のときから始まり、その時の θ_c の値(θ_{cl})は 68° となる。また $\alpha=45^\circ$ では K_h が1.0でも崩壊が起らない事を表わしている。

傾斜角が 10° ずつ増加しているこの計算結果によると、(I) K_h と α を与えたときの崩壊角 θ_c の上限値(θ_{cu})と下限値(θ_{cl})は、斜面を構成する土の強度定数と強度とに無関係である。(II) θ_{cu} は α に依らず、 K_h のみの関数となる。(III)与えられた K_h に対する θ_{cl} の値は、 α が小さくなるにつれて、一定の規則性をもって、その範囲が狭くなっている。などの興味ある傾向が得られた。(I)の傾向は、常識的に考えた場合、不合理なようであるが、その最大の原因はこの計算過程で、崩壊の限界角 θ_{cr} を解析に求めることが不可能であったので、予め任意に θ_{cr} を与えたためであろう、と考えられる。今後、この点についての理論的検討と実験的研究とを併行して明確にする必要があると考えている。

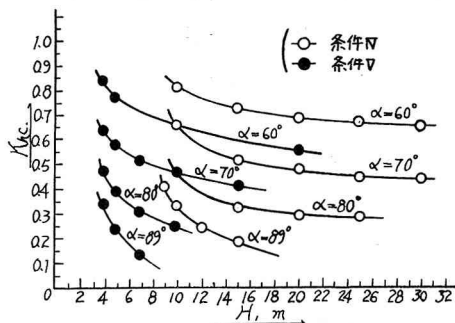


図-5. 限界強度(K_{hc})と斜面の限界高(H_c)との関係

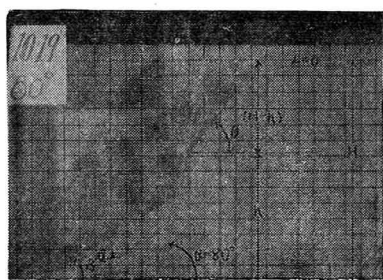
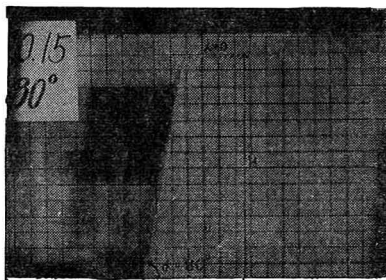
K_{hc}	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
θ_{cu}	84°	78°	71°	68°	63°	59°	55°	51°	48°	45°
45°	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50°	—	—	—	—	—	—	—	—	47°	41°
60°	—	—	—	—	—	—	51°	45°	40°	36°
70°	—	—	—	—	58°	51°	44°	39°	35°	32°
80°	—	—	68°	59°	51°	45°	40°	36°	32°	29°
89°	80°	70°	60°	52°	46°	41°	36°	33°	30°	27°

表-1. K_h と α を与えた時の崩壊角(θ_c)の範囲

2. 実験的研究

2-1. 実験方法

模型振動実験によって理論計算の際に仮定した斜面崩壊形状の検討と、 k , K_h , θ_{cr} , および振動周期との関係を調べてみた。



実験は、懸垂式振動台に固定した片面がガラスの箱($26 \times 35 \times 65$ cm)に乾ミラス(含水比 $w_u=1.6\%$, $\gamma=0.956 \text{ t/m}^3$, $C_u=0.075 \text{ kg/cm}^2$, $\phi=46^\circ$, 粒度曲線は図-6に示す)を高さ $H=30$ cmに均等に締め固め、傾斜角 α が 45° , 60° , 70° , 80° , 90° になるように切り取ったもので行った。振動台の駆動装置は、振巾が $10 \sim 30$ mmの範囲内で変化でき、周期は $0.14 \sim 0.55$ secの範囲内で連続的に変速できるようになっている。写真1-a, 1-b, はそれぞれ、 $\alpha=80^\circ$ の場合の振動前と $K_h=0.53$ で7分間振動させた後のものである。この実験では、崩壊高さ $h=24$ cmになるまでの時間と、

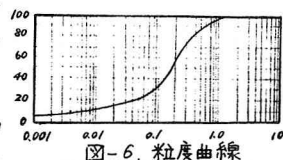


図-6. 粒度曲線

水平加速度 a_h 、および斜面崩壊角 θ を測定した。水平加速度は、東洋測器製・非接着型加速度計(±2g)で計測し、ビシグラフで自記記録させた。

2-2. 実験結果と考察

(1) 図-7に示すように、崩壊が発生して、一定の h (法肩から6cmの奥に崩壊が達するまで)になるまでに要する K_h は、 α が $45^\circ \sim 90^\circ$ の範囲では、 α に反比例し、その関係は

$$K_h = 1.17 - 0.0069(\alpha - 45) \quad \text{----- (3)}$$

で表わされる。

(2) 上記の場合、一定の h になるまでに要する時間 t と α との関係は、図-7に示すように双曲線状の関係にある。

(3) K_h が一定の場合、 $(H-h)$ と t との関係は、図-8に示すように、比例関係にある。

(4) 崩壊面の傾斜角 θ は、 K_h に逆比例的な関係にある。以上のことは、理論計算式における仮定とほぼ一致していることがわかる。

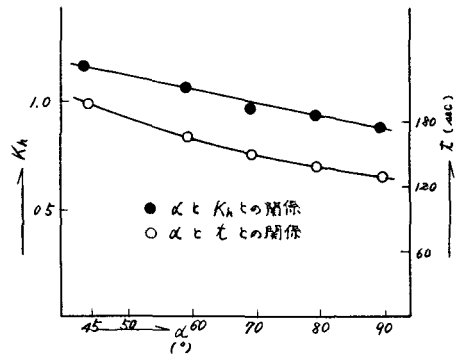


図-7 傾斜角と震度および振動時間との関係

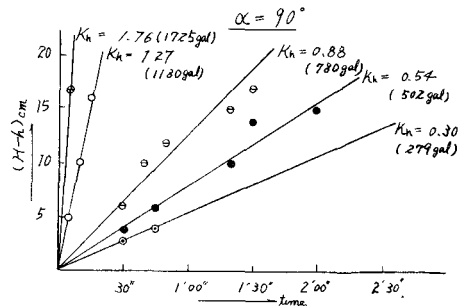


図-8 震動時間と $(H-h)$ との関係

あとがき

前回までの報告では、2種類のシラスに対する限界震度と限界高の関係を、傾斜角をパラメーターとして図化しておいたが、今回はさらに3種類のシラスに対する計算結果を追加し、法面設計に必要な資料を充実させた。またその過程で、崩壊角 θ の範囲を検討してみたが、この点については、今後なお検討の余地のあることが明らかになった。一方、実験的研究の結果からは、理論的解析の基本となる震度と崩壊高、および崩壊角との関係についての一部仮定がほぼ妥当であることが確かめられた。

しかしながら、この種の実験的研究に常に伴う実際の現象と模型との間の相似律に関する問題が解決されない限り、模型実験の結果はあくまでも参考資料の域を出ないものである。

なお この実験的研究では、技術員の荒巻英治氏に常に協力していただいた。また、研究経費の一部は文部省科学研究費(災害)「地すべり予測に関する研究」によった。以上付記して謝意を表する。

参考文献

1) 藤本康、田中俊彦、渋谷武治：シラス層斜面の地震時における安定性について

昭和43年度土木学会西部支部研究発表会論文集 昭和44年2月

2) 藤本康、田中俊彦、渋谷武治：シラス層斜面の地震時における安定性について

第24回土木学会年次学術講演会講演概要集

昭和44年9月