

名古屋大学 正会員 松尾 稔

名古屋大学 正会員 川村 国夫

まえがき 本報告は、動態観測によって施工途中においても設計変更を可能にする、いわゆる段階的
設計に関して、安全性と経済性のトレードオフ分析の観点から、その合理的方法論を採る試みの一つである。前
報¹⁾によって段階的設計の概念、特徴、および具体的なフローチャートを示した。今回はこれらに基づき、段階的
施工をする土構造物の設計に関して、具体的な例を引用しながら信頼度分析を行う。合わせて、各段階の破壊予
知も可能な管理法でチェックするが、その施工管理図の一試案も同時に報告する。

信頼度函数と評価函数 地盤の破壊に対する安全性は、安全率 β という漠然とした経験的係数で論じられ
ているが、実際の地盤の安全性に關する因子は本来的にはらうくたが、そのはらうきを完全に処理して安全性
を定量的に表現したものはたうたない。すなわち安全性を力学的に「破壊に対する信頼度」という確率論で定量的に
表現する。一方、構造物の設計は単に力学の範疇にとどまらず経済、非経済の問題と定量的に結びつけと決
定されなければならない。そのため合理的な設計法を確立するためには、力学的な信頼度も力学以外の評価函数
と結びつけたかたうと論じる必要がある。前報²⁾に示した段階的設計の特徴、信頼度函数、評価函数について
簡単にまとめてみると以下のとおりになる。従来の盛土設計、施工の方法は図1(a)のように設計段階と施工
段階が分離、独立している。すなわち所定の機能を有する盛土をつくるための種々の対策上、例えば押え盛土を
するとか、地盤改良をするとかの代替案の選択は施工段階と関連なしに、設計段階で決定された。そのため動
態観測は単に施工中の破壊をチェックするにのみ一手段にすぎない。一方段階的設計は図1(b)に示すように、
構造物の完成までの全工期を設計段階とみなし、その一部に施工段階を含めと考える点に特徴がある。すなわち
施工段階に導入された動態観測をも、設計の初期段階における従来の種々の対策とまったく同等な一つの代
替案として位置づけるのである。換言すると設計の最初の段階で考慮された種々の対策と施工開始後に考慮さ
れる対策はまったく同等な立場にある代替案の集合とあると考えられ、それらを一連のシステムとしてとらえ
、合理的な代替案の組み合わせをタイムリクな姿勢で選択して行うとすることである。またこの系の信頼度
函数は破壊の兆候がみえても施工中に対策を講じることができると、保全性を伴う信頼度として扱うことが
できる。すなわち破壊に類した盛土の信頼度もなるべく早く正常状態に引きもどす保全度を考えることができる
のである。今、盛土施工を図1(c)のように段階に分け、そのうちの段階とは、

$$A(H_j) = R(H_j) + [R]M_j \quad (1)$$

$A(H_j)$; j 段階目の盛土施工の信頼度。ただし $j-1$ 段階目が立ち上がった後
 j 段階目の盛土を完成するときの信頼度。

$R(H_j)$; $j-1$ 段階目までの盛土が立ち上がったとき、次の j 段階目の盛土を
施工したときの信頼度。ただし動態観測による対策工の効果を含めない信頼度
とし、 $R(H_j) = 1 - P_{Hj} \cdot R(H_{j-1})$, P_{Hj} ; j 段階目の盛土の破壊確率

M_j ; j 段階目で動態観測を行い、破壊の兆候がみえたとき、何らかの対策
工を論じるが、それによって向上する系の信頼度。ただしこの対策工は別に定
められた時間内で実施できるものとする。

$[R]$; 動態観測によって破壊しなかつたという結論を得たとき $R=0$, 破壊する

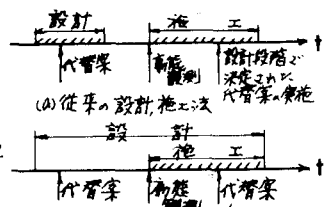


図1 従来の設計、施工法と段階的設計の比較

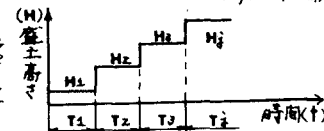


図2 盛土設計の基本的モデル (各段階は逐次施工)

という結論を得たときは $\alpha = 1$ 、すなわち、 j 段階目の破壊を生ずる確率は $1 - R(H_j)$ だけ存在するため、これを動
能観測にチェックしながら、対策工を実施するか、どうかを決定できるところに段階的設計の特徴がある。いま
破壊するという結論を下したときは、いつでも M_j を得るための施設、資材、労働力が確保されていなければならない、こ
の意味と系としての信頼度は $\alpha = 1$ として考えらるものとする。

一方、経済性の公平のため費用関数のモデルを次のように考える。

$$CA_j = C_{sj} + C_{obsj} + C_{Mpi} + P_k = 2CM_j + (1 - A(H_j))CF$$

CA_j : 信頼度 $A(H_j)$ を得るための総費用

C_{sj} : j 段階目の盛土施工に用いる建設費、地盤調査費なども含まれる。

C_{obsj} : j 段階目の動能観測費

C_{Mpi} : 対策工を実施するために常に確保しておく必要十分な材料、資材、
および、労働力の待機損失費

CM_j : 対策工費

$P_k = 1$; $k = 1$ が発生する確率。 P は盛土を施工する前段階を検討するため、 j 段階とは近似的に P_{kj} とみなす。

CF : 破壊損失費

これら信頼度関数と費用関数を結びつけて、別に定めた評価基準のもとに信頼度分析を行うわけである。たと
えば、 j 段階目の盛土高が、全体の施工期間や施工速度から制約を受けて決定されている場合を想定してみる。こ
の場合評価基準としては費用便益基準のうち費用最小を採用する方が一つの有効な方法である。図3はこの評価
基準に基づいた最適の信頼度 $A(H_j)_{opt}$ を求める概念図である。横軸に全全体の信頼度 $A(H_j)$ をとり、縦軸に
は全費用 CA_j がとってある。これより $CA_j \rightarrow \min$ とする信頼度が $A(H_j)_{opt}$ であり、盛土高 H が変化して H' にな
れば $A(H_j)_{opt}$ の位置も当然異なってくるのがわかる。そしてこの作業を各段階で実施し、 j 段階目の $A(H_j)_{opt}$
を求めると同時に、既述した信頼度関数より最適な対策工の規模 $(M_j)_{opt}$ 、およびその種類が決定できる。

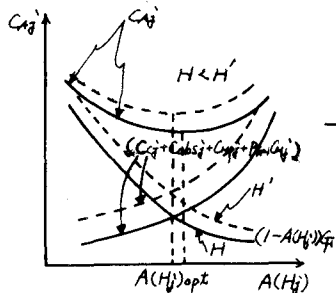


図3 信頼度分析概念図

数値計算例

いま、図4に示すように軟弱地盤上に高さ8.0m、天端幅10.0m、斜面勾配1:2.0の盛土を施
工しようとする。盛土の施工段階数、各段階の盛土高、および放置期間などの施工計画は、工期の制約と、安全
性の観点より決定されているとし、この場合、第1盛土高を3.0mとしたケースを想定した。また盛土の単位体
積重量は図4中にも記してあるように平均 1.2 t/m^3 、標準偏差 0.13 t/m^3 とし、さらに軟弱地盤の耐圧強度を
平均 1.2 t/m^2 、標準偏差 0.38 t/m^2 とし、これを正規分布するとしている。この場合の破壊確率は 4.4×10^{-6} だ
った。土工にあたって常に考慮すべきことは、工事工程、取扱い土量、現
場条件、そして土工機械の経済性比較である。この方法論では、破壊の生じか
る想定すれば、数時間内に対策工が施工できることを原則としている。すな
わち、例えば薄り破のはさみ層などにおける急激な過剰水圧の上昇によっ
て生ずる急速な破壊は、動能観測に処理できる破壊とは異なるので、このような
破壊は地盤調査段階で十分調査し、水抜きなどの対策工を実施するものとし、
この方法論では取扱わない。この方法論で取扱う破壊は変化が時間とともに
徐々に進行して、破壊までに数時間の余裕があるものとする。また取扱い
土量も破壊進展によって異なるが、今までの破壊例を調べてみると、約50m
ぐらいがほとんどで20m~120mの範囲で観測されているため、この試算例
では50mを想定した。また対策工別、および土工機械別の経済性を調べて
みたのが図5、図6である。図5はふたつの対策工を実施するにあたって
使用される土工機械の経済性も示したものである。この場合対策工は既述し
た理由により、5時間以内で実施できるものとし、また規定の土工量を処理

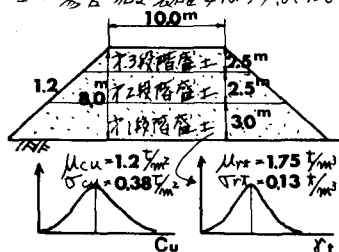


図4 試算例

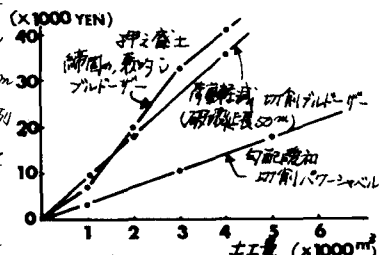


図5 土工量とコストの関係

として与えた。これにより、 $Q_{A2} \rightarrow \min$ とする設計基準に立てば、最良の信頼度
り盛土高3^m断面の信頼度74.2%に対して、12%の信頼度を上げるために
り、その規模は抑え盛土高12^m、抑え盛土幅80^mと考えればよいことには

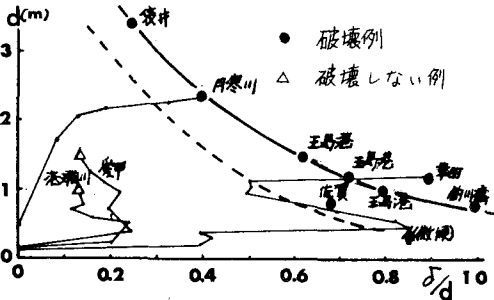
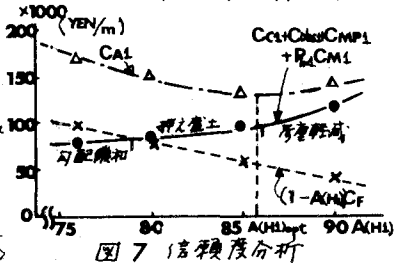


図8 施工管理図の一試算

破壊の時期と位置とを方法
この段階施工のシステムの中で動態観測による破壊の時期と位置に把握することは重要な問題である。図8は軟弱地盤上に施工された、形状および単位体積重量が異なった盛土の破壊例および破壊しない例の変位過程をまとめたものである。このような試みは、前期で行なった、横軸に盛土法凡の側方変位量と盛土中央部の基礎地盤の沈下量との比をとり、縦軸に α と軟弱地盤の層厚 z との比をとった管理図に類似してゐるが、現在進めてゐる理論的考察によれば α はconstとなる条件で破壊予知が可能であるようなので、前期の整理をあらためて、今回は、横軸に α 、縦軸に α をとってプロットした。図8によれば破壊例は図中に示した双曲線と近似する曲線上で破壊してゐることがわかる。また破壊例は変位過程は、時間とともにこの曲線に近づく。破壊しない例では、施工直後はこの曲線に近づくが、途中からなだりて遠ざかるような経路をたべることに注目すべきである。すなわちこの曲線を一つの破壊規準線とみなせば、図8は、動態観測による破壊の予想のための施工管理図としてきわめて有望である。たとえば、破壊した車田盛土は、載荷を始めてから約20日、向盛土上げをくり返したのと、地盤の変位は、時間とともに、この破壊規準線に近づく、つらには破壊の兆候を示した。そこで破壊の進行をとめるため約4ヶ月間の放置期間を設定した。それによつて変位は逆に破壊規準線から遠ざかったが、再度盛土を行なった時点で、この破壊規準線上で徹底的に破壊した。これに対して愛甲盛土では、いくら盛土上げを行なつても変位は、いかにこの破壊規準線に近づかず、安定した盛土施工が行われた。すなわち盛土施工中に地盤の変位量が経時的にこの破壊規準線に近づく傾向を示すならば、破壊になつて警戒が必要となり、例えば図中に示す破線のような破壊規準線より若干手前のある基準の変位量に達したならば早急に対策を施工する必要がある。この破線の妥当な位置について今後研究課題とした。

参考文献 1) 段階設計に關する一考察 松尾, 111 村, 549 年度土木学会中部支部建築演習要集