

段階設計に関する一考察

名古屋大学 正会員 松尾 裕  
 名古屋大学 正会員 〇川村 國夫

はじめに

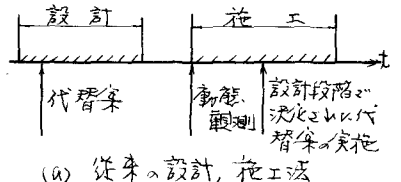
最近の土木工事は大規模化の一途を辿り、土木構造物に用いられる鋼材の量も大型化は、必然的に安全性、経済性の精度と合理性の向上を要求する。土の諸性質は本来的不確実であるから、土質試験、技術上の問題がこのばらつきを助長する。そのため、設計のメカニクスとして供する力学的諸体数は当然ある程度、多い。このことは土木構造物の安全性に決定的な議論があることを基本的な無理のあることを示している。安全性は経済性と深く関連し、お互いのトレードオフの関係にある。この関係の力学、経済両面からの分析・設計、施工の基礎となる。

本報告は、動態観測に基づき施工途中の設計変更を可能にさせ、いわゆる段階的設計に用いて、安全性と経済性のトレードオフ分析・観測という合理的な方法と採り組みの一つである。

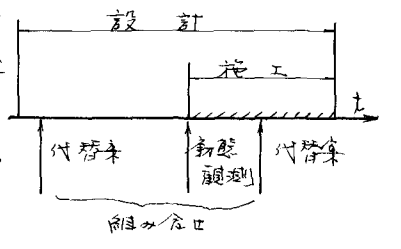
段階的設計

(1) 特徴

建物や橋梁の施工段階に入る、その間の設計変更は大変困難と損失を伴い、ほとんど不可能に近い。これを防ぐ、盛土などの土木構造物は動態観測による、段階的状況とフェーズから施工途中の設計変更が可能な重要な特徴がある。この特徴を合理的にいかそうとするために段階的設計が用いられる。あるいは、従来の設計、施工の方法は図1(a)の特別に横軸にとり示してある。設計段階と施工段階の分離、独立して行うのが特徴である。予定の機能と有する盛土とくくくある種の作業工、例として押入盛土とくくく、地盤改良とくくくとの代替案の選択は施工段階とは関連なく設計段階で決定される。そのため、動態観測は単に施工中、破産とフェーズがあるための一手段にすぎず、その結果の具体的な行動は緊急的



(a) 従来の設計、施工法



(b) 段階的設計法

図1、従来の法と段階的設計の比較

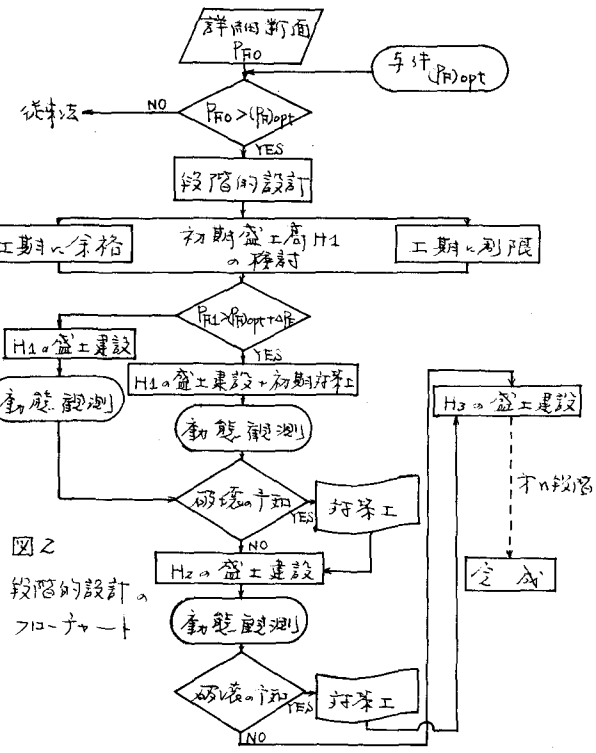


図2 段階的設計のフローチャート

措置をとり得る。一、段階的設計の概念は、図1(ハ)に示すように、構造物の完成までの全工期を設計段階に分け、その一部分の施工段階を含め考慮する長の特徴がある。すなわち、施工段階を導入することによって、設計の初期段階における従来の種々の対策工は、 $\alpha$ と同等の $\alpha$ の代替案として位置づけられる。換言すれば、設計の最終段階を考慮する種々の対策工は施工開始後に考慮する種々の対策工は、 $\alpha$ と同等の立場にある代替案の集合であると考へられ、それらを一連のシステムとしてとらえ、合理的代替案の組み合わせでダイナミックな姿勢を選択してゆくことができる。

## (2) 具体的なフローチャート

図2は、軟弱地盤上の盛土建設に関する段階的設計の具体的なフローチャートを示している。流石に従って説明すると以下のとおりである。なお段階的設計は常に段階的施工との対応をふりかへて考へられるものである。段階的施工は典型的に二種類に分けられる。1つは普通に行われる段階的施工で、圧入による強度増強と期待しないうち長期的に施工するものである。他は現行の表現によれば迅速施工であるものである。従来法では急造施工による盛土は瞬間的に立ち上ると考へるが、段階的設計では急造施工も短時間かつある有限時間の施工に分けられる。動態観測に伴ういくつかの段階に区別される。この意味で強度増強と期待しない急造施工もやはり段階的施工になる。ここから簡単に $\alpha$ と $\beta$ の区別を取扱う。

(a)、上位計画における路博選定により盛土の支脚係と高さが決まる。これにより標準断面の破壊確率  $P_{F0}$  と求められる。

(b)、産金率に関する過去の実績から、採集する盛土の適正な破壊確率  $(P_{F0})_{opt}$  と定める。

(c)、 $P_{F0} < (P_{F0})_{opt}$  の一切の対策工をこの標準断面で施工、 $P_{F0} > (P_{F0})_{opt}$  の場合、段階的設計に入る。

(d)、 $\alpha$  1 段階の盛土高  $H_1$  は、迅速施工の場合は、施工業者の常識から、 $\beta$  の長期施工の場合にも全工期の初めから下り決まり、 $\alpha$  と  $\beta$  の対比である。(力学の例題のように決まることは必ずしも非現実的。)

(e)、 $\alpha$  の対策工による動態観測を低減する破壊確率  $\alpha \leq P_{F1}$  とする。  $P_{F1} = (\alpha)_{opt} + \alpha$  なる無処理の  $H_1$  で施工する。よって  $P_{F1} > (P_{F0})_{opt} + \alpha$  であるから、 $\alpha$  と  $\beta$  の動態観測を行ない、 $\beta$  の  $H_1$  の盛土の破壊確率を適正値以下に抑えることを行なうから、地盤改良時に盛土の対策工と施工前、あるいは  $H_1$  の施工と同時に実施しなくてはならない。その規模は  $P_{F1} - [(P_{F0})_{opt} + \alpha]$  により算出される。

(f)、 $H_1$  の施工開始と同時に適量の動態観測を行ない、破壊の状況とデータをとり、 $H_1$  の盛土施工作業調査の結果を基に選定する。このとき  $\alpha$  の段階の盛土は高くなる。1. 破壊の初期は  $\alpha$  の規定時間内(あるいは設計時間内)の対策工を実施しなくてはならない。対策工としては、砂を盛土、砂を盛土乾燥、斜面勾配緩和、レートパイル打設などの施工が可能で、かつ迅速にできるものも考へられる。(この対策工の規模も最適化も検討事項である。) なお調査手段の手法については後述する。

(g)、以下同様にして  $\alpha$  の段階から最終段階まで進め、所定の機能と有る盛土と定めてゆく。

(h)、検討事項

段階的設計の確率論を導入した信頼度分析の基礎として、① 研究確率  $P_R$  の分布、② 信頼度の健全度の導入、③ 評価基準、④ 研究の評価時期とその方法による問題を集約的に示す。

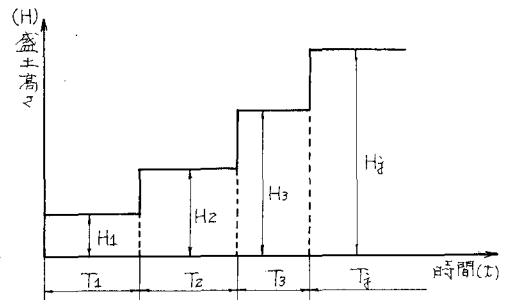


図3 盛土設計の基本的モデル (各段階の主要施工)

① 研究確率  $P_R$  の分布  
 段階的施工は、 $N$ 、 $n$  土盛土を安定させることと確認し、 $n$  土を次の段階の盛土施工に用いる。時間  $t_n$  の破壊確率は、マルコフ過程に従うものとして考えられる。 $n$  とある。すなわち

$$Prob[X(t_n) | X(t_{n-1})] = Prob[X(t_n) | X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_{n-1})]$$

健全度は、時間  $t$  における盛土高  $H$  の関数として考えられる。  $H_{n-1}$  を土とした場合、 $n$  の盛土作業の信頼度は

$$R(H_n) = 1 - P_R(H_n) \cdot R(H_{n-1})$$

$R(H_{n-1})$ ;  $H_{n-1}$  を盛り上げたときの時間  $t$  の信頼度

$P_R(H_n)$ ;  $H_n$  の瞬間破壊（この場合）に与える破壊確率

② 信頼度の評価基準

段階的設計とは、研究の相対的コスト、施工中の対策を講じたことと関連する。このときの信頼度の健全度の条件は、信頼度を  $1$  と取り、このときの信頼度は、盛土作業の研究の健全度という信頼度の確率状態と関係する。早く正常状態に達する能力と健全度の健全度を参考とすることがある。これは盛土施工に用いる  $n$  の段階を分析、その  $n$  の段階では、盛土は  $n$ 、 $n$  を土とした場合の信頼度とする。すなわち健全度の信頼度は、次のようになる。

$$A(T_j) = R(T_j) + [R] M_j$$

ここで  $A(T_j)$ :  $j$  段階目の盛土施工の信頼度。  $n$  の  $j-1$  段階の盛土を土とした後、 $j$  段階目の盛土を完成させたときの信頼度。

$R(T_j)$ :  $j-1$  段階目までの盛土を土としたとき、次の  $j$  段階目の盛土施工してときの信頼度。  $n$  の  $j$  段階目の新状態に与える対策の健全度を含む  $n$  の信頼度とする。すなわち  $R(T_j) = 1 - P_{Rj} \cdot A(T_{j-1})$

$n$  土段階目の信頼度  $R(T_1)$  は  $R(T_1) = R_1 + (1 - P_{R1})$

$R_1$ :  $n$  土段階目の盛土施工前、  $n$  の  $n$  土段階目の施工に即時に実施する地盤改良による初期対策による、  $n$  向上する信頼度。

$P_{Rj}$ :  $j$  段階目の盛土を完成させたときの  $n$  土の破壊確率

$M_j$ :  $j$  段階目の新状態に与える  $n$  土の研究の相対的コストと、  $n$  土の対策を講じた。  $n$  とする、  $n$  向上する  $n$  土の信頼度。  $n$  とする、  $n$  の対策は別に定めた  $n$  土の時間  $t$  の完成させた  $n$  とする。

$[R]$ : 新状態に与える  $n$  土の研究の健全度の  $n$  と  $R=0$ 、破壊  $n$  とする  $n$  土の健全度  $n$  と  $R=1$ 。すなわち、  $j$  段階目の研究に  $n$  土の健全度  $1 - R(T_j)$  の  $n$  土の健全度  $n$  の、  $n$  と  $n$  土の新状態に与える  $n$  土の対策を  $n$  土と実施させた、  $n$  と  $n$  土の決定  $n$  と

とてこの段階的設計の時機がある。いは破産ありという結論を下しなくてはならぬ。この破産は $R=1$ と $1 < R < 5$ とに分けられる。1未満は破産と結論を下し得る場合は、この段階の益工を $R(T_i)$ という信頼度によって決めなければならない。

一方、経済性の評価の観点からは費用削減の確保も必要である。段階的設計の経済性評価モデルは次のように考へる。

$$CA_i = C_{c_i} + C_{obs_i} + C_{mp_i} + P_{R=1} C_{mj} + (1 - A(T_i)) C_F$$

ここで  $CA_i$  ; 信頼度  $A(T_i)$  を得るための総費用。

$C_{c_i}$  ; 段階目的の盛土工事に用いる建設費。ただし、この段階目的の対策工の内容を含む。これを  $C_{c1}$  といふ。地盤改良の目的の初期対策工費を含むこととする。

$C_{obs_i}$  ; 段階目的の新設観測量。

$C_{mp_i}$  ; 破産あり、1未満の決定にもかかわらず、策を確保しなくてはならぬ対策工の内容の建設費、および労働力の待機損失費。

$C_{mj}$  ; 新設観測によらず破産ありという結論を得ず、対策工を実施することの費用。

$P_{R=1}$  ;  $R=1$  の発生する確率。  $P_{R=1}$  盛工と土工を行う段階を豫計するため、この段階では近似的に  $P_{R=1}$  とみなすこととする。

$C_F$  ; 破産損失費

以上のよう信頼度設計をする場合、評価基準の設定に注意する必要がある。  $R=1$  とは  $(A_i) \rightarrow \min$  であり手段が実施することは1つの方法と考へる。

④ 破産の評価時期とその方法  
新設観測による「破産に至る」と評価する時期を適確に把握することは非常に重要である。図4は軟弱地盤上に建設された盛土の破産例のプロットである。一つの試みと示している。横軸は盛土法流の側方変位量、盛土中央部の基礎地盤の次下層との比であり、縦軸は軟弱地盤の層厚  $B$  ( $B < 0.6 \text{ m}$ ) であり、載荷重の地盤内応力の  $1/2$  以下と仮定したときの比とプロットしている。これにより条件の違ふ種々の破産例の中で示した双曲線と大体の一致がわかる。手にこの双曲線に近しいほど、変位の時間的変化が大きくなる。図4は、破産に至る例のプロットである。破産に至る例の盛土の意は、最終的には示した双曲線の意に沿う付能路と比とを注意するべきである。この双曲線と一つの破産例とを比較し、図4の新設観測による盛土実施の施工管理図と1と有望であることが考へられる。

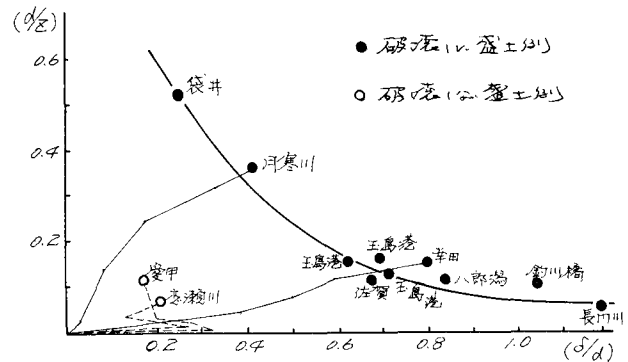


図4 盛土建設の施工管理図と1との一致