

京都大学工学部 正員 黒田 勝彦
戸田 建設 正員 山田 睦郎
正員 〇金井 進

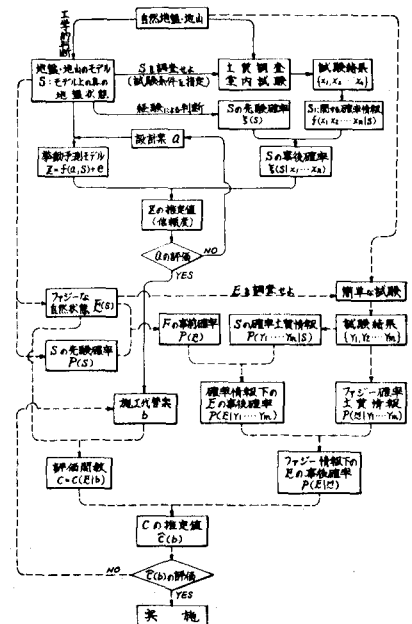
1. はじめに

土木構造物の設計や施工では多様な不確実性が混入している。設計段階で考えられる不確実性を分類すると、(1)ランダムネス(Randomness)、(2)モデル誤差(Modeling error)、(3)不完全情報(Imperfect information)に分類できる。¹⁾ 従前の設計ではこのような設計に含まれる不確実性をカバーする為に、安全率や荷重係数を導入してきた。しかし、10年程前からこのような安全率や荷重係数の持つ多くの欠点が指摘され、^{2),3)} 不確実性を確率(度)で表現した信頼度がこれに替る合理的な尺度として提唱され、次第に技術者の関心を引くようになってきた。しかし、このような信頼度に基づく設計(信頼性設計, Reliability-Based Design)がなされたとしても、施工現場ではなおかつ多くの不確実性に目を覆っている。特に、大規模、小規模を問わず、施工機械の発達によってほとんどの工事が機械施工されるようになったにも拘らず、現場の施工条件と施工機械の特性を考えた工法選定はあいまいな基準でしかなされていない。この最も大きい原因は、施工機械毎の施工性能が施工条件との関係で十分に解明されていない点にある。従って、現実の施工現場では設計段階で行なわれた土質調査の結果がうまく活用されず、現場の簡単な視察と過去の経験から、「ここは軟弱だから湿地ブルでない」とか「可成り良好な土砂だからゲンパでも走れる。」といった判断で工法が選定されている場合が多い。このような曖昧な土質に関する表現と、設計段階で用いられる強度とか含水比といった物理尺度で表現される土質とはどのように結びつけたいのだろうか? 本研究はこのような曖昧な表現による土質の情報をファジー土質情報と定義して、従前の物理尺度による土質表現との関係を定式化し、施工現場でのこのような情報の活用法について例示する。

2. 設計案と施工案の選定プロセス

図-1は、基礎及び土木構造物の設計代替案と施工代替案の選定プロセスを示したものである。設計では地盤と地山は解析のために単純化されモデル化される。モデル化された地盤について、設計代替案Aの地盤と構造物の挙動が解析されるが、通常は土質調査や室内試験を通して、地盤の物理定数や力学定数が推定され、これを用いて挙動Zの予測値が得られる。この予測値を設計基準や建設コストに照らして総合評価を行い実施設計案が選定される。一方、実施設計案を施工する場合、施工法の選定に関する基準が曖昧で、多くの現場では現場技術者の経験や勘によって、即ち、自然地盤や地山の状態をみて、「普通土」とか「厚い層」といった曖昧な表現で規定され、これに対して「ゲンパトラックなら何日」とか「湿地ブルなら何日」とかいった評価関数がつくられ、場合によっては簡単な現地試験が行なわれて、自然地盤や地山の状態(曖昧な表現による状態E)が確認される。この際と試験結果は経験的な判断基準に使えるように、

図-1 設計施工代替案の選定プロセス



「かなり硬い」とか「軟弱土」とかいった情報に変えられている。このような情報を「ファジー土質情報」と名付ければ、「ファジー土質情報」を用いて「ファジーな自然状態 E 」の推定が行われ、これによって評価値の推定がなされていることになる。以下、これらのファジーな自然状態をファジーな土質情報に基づいて如何に推定するか定式化する。

3. ファジー土質情報による自然状態の推定

設計段階で規定される如き、物理尺度による自然地盤や地山の状態を S_i とする。施工段階では S_i をファジーな状態 E_k （例えば、 E_1 :軟弱粘土、 E_2 :普通土、 E_3 :支持力の大きい土 etc）として把握される。 S_i の先験確率を $P(S_i)$ とし、 S_i を E_k と判断するメンバーシップ関数を $\chi_{E_k}(S_i)$ とすると、 E_k の先験確率 $P(E_k)$ は式(1)で与えられる。一方、試験値 Y_j が従う確率法則を $P(Y_j|S_i)$ とすると、確率情報 Y_j を得たときの E_k の事後確率は、式(2)で与えられる。試験結果 Y_j をみて、ファジー土質状態 M_k （例えば、 M_1 :支持力大、 M_2 :支持力普通、 M_3 :支持力小 etc）と判断するメンバーシップ関数を $\chi_{M_k}(Y_j)$ とすると、 Y_j を得た時の M_k の条件付確率は式(4)で与えられる。式(2),(4)より(5)式を得るので、(3),(4),(5)式から、ファジー土質情報 M_k を得た後の E_k の事後確率 $P(E_k|M_k)$ は式(6)で与えられる。¹⁾

$$P(E_k)=\sum_i \chi_{E_k}(S_i)P(S_i) \quad \text{-----}(1)$$

$$P(E_k|Y_j)=\sum_i \chi_{E_k}(S_i)P(Y_j|S_i)P(S_i)/P(Y_j) \quad \text{-----}(2)$$

$$\text{但し } P(Y_j)=\sum_i P(Y_j|S_i)P(S_i) \quad \text{-----}(3)$$

$$P(M_k|Y_j)=\chi_{M_k}(Y_j) \quad \text{-----}(4)$$

$$P(E_k,M_k|Y_j)=\sum_i \chi_{E_k}(S_i)\chi_{M_k}(Y_j)P(Y_j|S_i)P(S_i)/P(Y_j) \quad \text{---}(5)$$

$$P(E_k|M_k)=\sum_i \sum_j \chi_{E_k}(S_i)\chi_{M_k}(Y_j)P(Y_j|S_i)P(S_i)/\sum_j \chi_{M_k}(Y_j)P(Y_j) \quad \text{-----}(6)$$

4. 宅地造成現場での応用例²⁾

図-2 は主要な3ヶ所の切土地点と3ヶ所の盛土地点間の運土計画図で、地山は大部分が土砂で、施工機械の施工能率算定上の分類として、 E_1 :軟弱土、 E_2 :普通土、 E_3 :良質土といったファジーな表現がなされており、1-ン等の試験はされなかった。表-1~3 は、夫々のファジー土質状態を想定した時の各運土ブロックの施工単価を推定した結果である。詳細な説明は講演時に譲る。

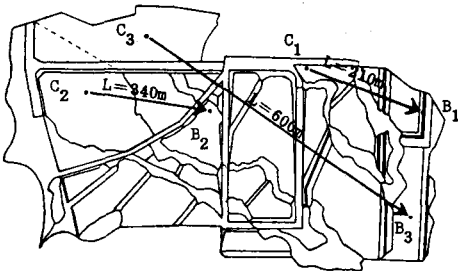


図-2 運土計画図

参考文献

- 1) Tanaka, H., Okuda, T. and Asai, K. (1979): Advances in Fuzzy Set Theory and Appl. North-Holland
- 2) 黒田, 山田, 金井, 小竹 (1982): 現場におけるファジー土質情報の活用方法, 土質工学における確率統計の応用に関するシンポジウム 論文集
- 3) Proc. of 1st ICASP

表-1 Cost Matrix
 $C_1 \leftrightarrow B_1$: $L = 210 \text{ m}$, $Q = 15,300 \text{ m}^3$

State Action	F_1	F_2	F_3
A_1	391.3	220.6	160.9
A_2	493.3	271.2	199.6
A_3	756.8	360.0	213.3

表-2 Cost Matrix
 $C_2 \leftrightarrow B_2$: $L = 340 \text{ m}$, $Q = 223,800 \text{ m}^3$

State Action	F_1	F_2	F_3
A_1	413.5	296.3	213.4
A_2	386.9	267.5	170.1
A_3	291.2	178.5	147.9

表-3 Cost Matrix
 $C_3 \leftrightarrow B_3$: $L = 600 \text{ m}$, $Q = 35,000 \text{ m}^3$

State Action	F_1	F_2	F_3	$U(A^*)$
A_1	540.5	386.9	279.5	392.6
A_2	668.8	262.9	236.6	377.4
A_3	769.6	595.6	222.7	505.1
$P(F_k)$	0.307	0.307	0.386	