土木学会第54回年次学術講演会（平成11年９月）

Ⅲ－B 273　　土の締め固め施工管理の目標値設定に関する一考案

岐阜大学 工学部 正員 本城 勇介　大成ロテックス 山田 邦博
不動建設ｼﾞｵ･ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ事業本部 正員 原田健二 深田 久

１．研究の目的

本研究では、土の締め固め施工管理において重要なのは、締固め密度等地盤の物理量が個々の点で規格値を満足することではなく、ある体積についての平均値、すなわち移動平均値が、工学的に意味のある規格値を満足することが重要であるという観点に立ち、移動平均確率場により、土工事の施工管理目標の設定方法について考察する。

2. 理論

2.1 確率場を記述する統計量

地盤の特性値は同一地層内では連続的に変化すると考えられる。これを定常確率場として記述するのが、本研究の立場である。従って、平均、分散、自己相関関数が基本的な統計量である。

2.2 移動平均過程の閾値横断期待個数

N値などの地盤特性を表す指標で、応用上重要なのは、ある一点における地盤特性の値ではなく、ある長さ、面積や体積についての平均値であると考えるほうが合理的である。このようなある被平均体積Vについての平均値の作る確率場を移動平均確率場と言う。移動平均は一次元の場合、座標をその平均を取る長さの中心位置とすると、次の様に定義される。

$$Z_V(x) = \frac{1}{V}\int_{X-V/2}^{x+V/2} Z(u)du \tag{1}$$

Vanmarcke(1983)は、このような移動平均の分散の値を次の様に近似的に計算することを提案した。

$$\sigma_{ZV}^2 = \sigma_Z^2 \Gamma_Z^2(V) \tag{2}$$

ただしここに$\Gamma_V^2(V)$は、分散関数と呼ばれ、移動平均の平均領域の大きさVの増加に伴い、分散の減少の度合いを表す関数であり、次の様になる。

$$\begin{aligned} \Gamma_Z^2(V) &= 1 \qquad V \le \delta_Z \\ &= \delta_Z / V \qquad V \ge \delta_Z \end{aligned} \tag{3}$$

ここにδ_Zは、確率場に関する変動のスケールと呼ばれる値で、自己相関距離aより容易に求まる。ちなみに、ガウス型の場合 $\delta_Z = \sqrt{\pi}a$ である。紙面の関係上詳しい説明は省略するが、Vanmarcke(1983)は、このような移動平均場 $Z_V(x)$の閾値横断期待個数 $\nu_{b',V}^+$ を求めている。

3 施工管理目標の設定方法

3.1 予備的考察

施工管理の目的は、「建設あるいは改良の対象となっているある体積を持つ地盤が、耐用期間中の予測される外乱に対して、その要求される性能を十分に満足すること」と言える。要求される性能としては、強度、変形性、透水性等が考えられるが、それらを頻繁に計測することは不経済である。それらに替わり用いられるのが、締め固め度D値、N値などの指標である。本研究ではこれらを「施工管理パラメーター」と呼び$Z(x)$として表す。土工事の施工管理の問題を定式化すると「工事期間を通じて施工管理パラメーター$Z(x)$を、目標値を満足するレベルに保つようにする」といえる。

次に、$Z(x)$の変動についての定量的な情報を得るために、$Z(x)$ を定常確率場として、統計量を与える。

μ_Z：$Z(x)$ の平均値、σ_Z^2：$Z(x)$ の分散、

r_z:分散の内White Noiseの占める割合、

δ_Z :$Z(x)$の変動スケール。White Noiseを除いた、分散の部分についての自己相関関数は、ガウス型とするので $\delta_D = \sqrt{\pi}a$ である。$z*$: 目標値

Ω：施工対象地盤の体積。本研究の目的を表すと次のようになる。

$$\mathrm{Prob}.[Z_V(x) \le z^* \ for \quad \Omega \ni x] \ge 1.0 - \alpha \tag{4}$$

α は許容超過率である。

3.2 超過率の計算

施工対象地盤の体積Ω の中で、Z_vがを超過する期待回数P_Fは、次のように与えられる。

$$P_F = \mathrm{Prob}.[Z_V \le z^* \ for \quad \Omega \ni x] = \nu_{b',V}^+ \cdot \Omega \tag{5}$$

P_Fを超過率と呼び、$P_F \le \alpha$ を満足するようにμ_Z及びσ_Z^2を決定すればよい。P_Fは被平均体積Vとの変動スケールδ_Zとの大小関係により、それぞれ次のように求められる。

$\delta_Z > V$ の場合,　　　　　式(1)

$$\nu_{z^*V}^+ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}V}[1.0 - exp[-(\frac{\sqrt{\pi}V}{\delta_z})^2]]^{\frac{1}{2}} \cdot exp[-\frac{(z^* - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \cdot \frac{1}{(1.0 - r_z)}] \tag{6}$$

式(2)

$\delta_Z \le V$ の場合,

$$\nu_{z^*V}^+ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}V}\left[\frac{V}{\delta_z}\{1.0 - exp[-(\frac{\sqrt{\pi}V}{\delta_z})^2]\}\right]^{\frac{1}{2}} \quad exp[-\frac{(z^* - \mu_z)^2}{2\sigma_z^2} \cdot \frac{1}{(1.0 - r_z)} \cdot \frac{V}{\delta_z}]$$

3.3 施工管理指標，標準化被平均体積，標準化施工体積

式(6)は複雑で、またその意味するところも一目瞭然ではない。そこで施工管理目標の簡略化のために、いくつか新しい指標を導入する。

1. 施工管理指標β: $\beta = \dfrac{z^* - \mu_Z}{\sigma_Z}$

2. 標準化被平均体積ξ: $\xi = V/\delta_Z$

3. 標準化施工体積ω: $\omega = \Omega/\delta_Z$

これらの指標を導入することにより、式(6)は次のように書き直される。

• $\delta_z \geq V$ の場合　　式(3)

$$\frac{P_F}{\omega} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\left[\frac{1}{\xi}\{1.0 - exp[-\pi\xi^2]\}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot exp\left[-\frac{1}{2}\cdot\frac{\beta^2\xi}{(1-r_z)}\right] \quad (7)$$

• $\delta_z < V$ の場合　　式(4)

$$\frac{P_F}{\omega} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\xi}}\{1.0 - exp[-\pi\xi^2]\}^{\frac{1}{2}} \cdot exp\left[-\frac{1}{2}\frac{\beta^2}{(1-r_z)}\right]$$

式(7)に基づいて、各パラメータの関係について考察する。図-1は、r_z=*1.0*と標準化被平均体積をパラメータとして、$P_F/\omega-\beta$の関係を示した。この図より次のことが観察される。

1. 標準化被平均体積を一定としたとき、超過率P_Fを標準化施工体積で除した値と、施工管理指数の関係を見ると、P_F/ωは$\exp[-\beta^2]$に比例して小さくなる。これは*Z(x)*が正規確率場であると仮定しているからである。

2. 標準化被平均体積が、$P_F/\omega-\beta$曲線に与える影響を見ると、$\xi \leq 1.0$のときほとんど変化はない。しかし$\xi \geq 1.0$のときこの曲線は大きな影響を受け、小さいβで、低いP_F/ωを達成できるようになる。したがって、被平均体積*V*の大きさを*Z(x)*の変動スケールとの関係でどのように決定するかは、施工管理に大きな影響を与える。そしてVがδ_Zより大きくなると、特に大きな影響を持つ。

一方図-2は$\xi = 1.0$のとき、r_zが$P_F/\omega-\beta$曲線に与える影響を示した。r_zが増加するにつれてP_F/ωの値は同じβの値に対して$\exp[-1/(1-r_Z)]$の割合で減少する。すなわち同一条件ならば、短周期成分を多く含むほど施工管理は容易になると言える。

4 例題

提案する施工管理目標設定法を試すため、フィルダムの締め固め管理に関するデータ（本城・松永 1988）を例題とする。このダムの施工結果より得られたD値の統計量は、平均値99.3(%)、標準偏差2.0(%) $\delta_Z = 16$単位（ただし1単位は90m^{3}の施工度量に対応）、r_z=0.65、z^*=96(%)、$\Omega = 699$単位、*V=1*単位と仮定する。この時、超過率P_Fがどの程度であったか、逆算するとP_F=0.0287*43.7=1.25。ここで超過率は、確率ではなく、当該施工度量に$Z_V(x)$がz^*を超過した期待回数であることに注意する。従って、この全工期間を通じて、D値の90m^{3}についての平均値が、1.25回D値96%を下回ったと期待される。

5 結論

土の締め固め管理のための明確な目標設定を行なう問題に付いて考察した。施工管理パラメータが定常確率場に従うとき、その選択された被平均体積の移動平均確率場の閾値超過問題を考えることから、合理的な基準に基づいた、平均値と標準偏差の設定方法を提案した。今後は、実データの解析を続けると共に、より現実的な場合に、理論を拡張して行きたい。

参考文献

1) Vanmacke, E.H.: Random Fields: analysis and synthesis, The MIT Press, 1983

2) 本城 勇介・松永 正宏：土の締め固め施工管理に関する一考察：竹中技術研究報告、第39号、pp.11-22、1988

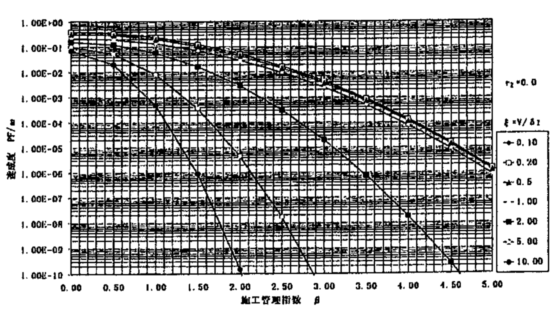

図-1 $P_F/\omega-\beta$曲線（パラメータ $\xi = V/\delta_Z, r_Z = 1.0$）

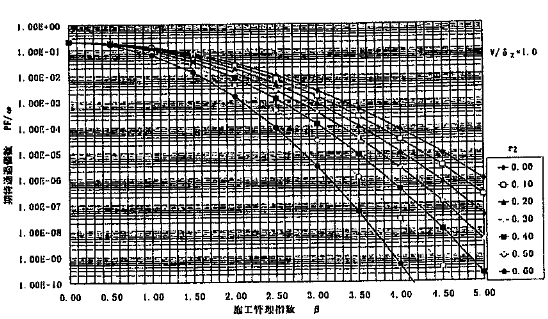

図-2 $P_F/\omega-\beta$曲線（パラメータ r_Z, $\xi = V/\delta_Z = 1.0$ ）