

(Ⅲ - 42) セメント系深層混合処理工法におけるセメント添加量と現場強度 および現場強度と設計基準強度の関係について

不動建設株式会社 酒井 成之
 不動建設株式会社 正会員 大林 淳
 不動建設株式会社 村上 恵洋

1. はじめに

本報文は、セメント系深層混合処理工法（CDM：Cement Deep Mixing）である、CMC：Clay Mixing Consolidation 工法における以下の項目についてとりまとめたものである。

① セメント添加量と現場強度の変動係数の関係

→ 最小添加量についての検討

② 現場強度と設計基準強度の関係

→ γ ：現場強度係数

λ ：現場強度と室内配合試験強度の比

2. 最小添加量

CMC工法における実績から、セメント添加量とCMCパイル現場強度の変動係数に注目して、両者の関係を図-1の右側に示す。これにより以下のことが判る。

- セメント添加量が $\alpha = 100 \text{ kg/m}^3$ 以上の CMC パイル
現場強度の変動係数は $[V_f = 20 \sim 30\%]$ 程度に収まる 図-1 セメント添加量～現場強度変動係数～現場強度
：CMC
- セメント添加量が $\alpha = 100 \text{ kg/m}^3$ 以下の場合は、急激に変動係数が増加しており、深層混合処理パイルとしての強度に大きなバラツキが生じている。
- CDMパイルは羽根切り回数とバラツキの関係（図-2）から、変動係数を40％程度（30～50％の中間値）に収めることを目的として、羽切り回数350回/m以上を基準としている。いま、CMCパイルの現場強度を見ると $\alpha = 100 \text{ kg/m}^3$ 以上で $V_f = 30\%$ 程度（20～40％）以下となっている。

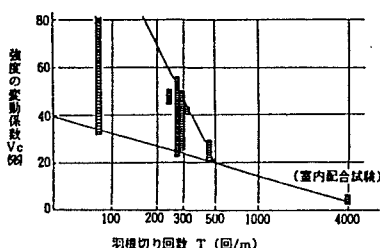
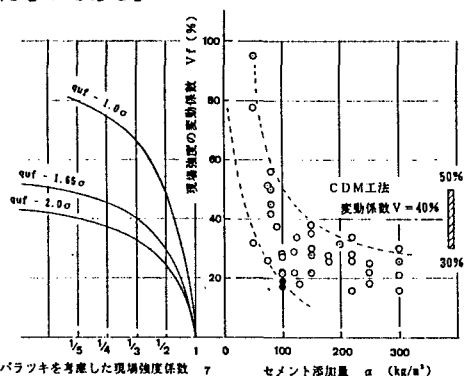


図-2 羽切り回数とバラツキの関係

3. 現場強度と設計基準強度の関係

「CDM 設計と施工マニュアル（設計・施工編）：CDM研究会」によれば、設計基準強度と現場強度、室内強度との関係は以下のように記述されている。

$$\begin{aligned}
 q_{uck} &= \gamma \cdot \overline{q_{uf}} & q_{uck} : \text{設計基準強度} \\
 \overline{q_{uf}} &= \lambda \cdot \overline{q_{ui}} & \overline{q_{uf}} : \text{現場強度の平均値} \\
 q_{uck} &= \gamma \cdot \lambda \cdot \overline{q_{ui}} & \overline{q_{ui}} : \text{室内強度の平均値} \\
 \gamma & : \text{バラツキを考慮した現場強度係数} \\
 \lambda & : \text{現場強度の平均値と室内強度の平均値の比}
 \end{aligned}$$

(1) 室内強度と現場強度の平均値の比 (λ)

CMC工法における最近のデータについて室内強度の平均値 ($\overline{q_{ui}}$) と

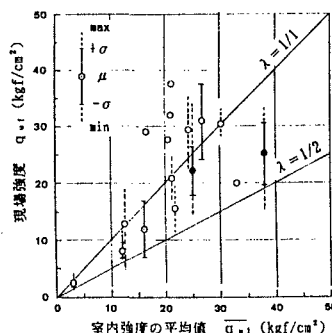


図-3 室内強度の平均値と現場強度の関係：CMC

現場強度 (q_{ur}) の関係を整理したものが図-3である。

同図より $\lambda = 1/1 \sim 1/2$ であることが判る。

(2) バラツキを考慮した現場強度係数 (γ)

深層混合処理パイルは、原地盤土性・改良対象域の土層・機械攪拌による各々のバラツキ等の要因により、現場強度にバラツキが生じる。一般に、土質工学的に土性は正規分布することが知られており、その土をセメント系機械攪拌した場合の深層混合処理パイルの強度も正規分布すると仮定する。

いま、設計基準強度と現場強度の関係をバラツキを考慮して次式で定義する。

$$\begin{aligned} \overline{q_{ur}} - a \cdot \sigma &= q_{ucx} & \overline{q_{ur}} : \text{現場強度の平均値} & \quad \sigma : \text{現場強度の標準偏差} \\ \overline{q_{ur}} - a \cdot (V \cdot \overline{q_{ur}}) &= q_{ucx} & V : \text{現場強度の変動係数} (V = \sigma / \overline{q_{ur}}) \\ q_{ucx} &: \text{設計基準強度} & a : \text{係数} \end{aligned}$$

上式を用いて $\gamma = q_{ucx} / \overline{q_{ur}}$ を算出し、整理したものが図-1左側である。同図において係数 a の値は以下の意味がある。

$a = 1.00 \rightarrow$ 設計基準強度 q_{ucx} を下回る確率が 15.8%

$a = 1.65 \rightarrow$ 設計基準強度 q_{ucx} を下回る確率が 5.0%

$a = 2.00 \rightarrow$ 設計基準強度 q_{ucx} を下回る確率が 2.2%

同図から、現場強度の変動係数と現場強度係数の関係は表-1のとおりとなる。これより、 q_{ucx} と q_{ur} との関係を現場強度の変動係数と設計基準強度を下回る確率の関係より求めると表-2に整理する結果となる。

表-1 現場強度係数: γ

	現場強度係数: γ		
	V=20%	V=30%	V=40%
q_{ucx} を下回る確率 3%以下	1/1.7	1/2.5	1/5.0
" 5%以下	1/1.5	1/2.0	1/3.0
" 15%以下	1/1.2	1/1.4	1/1.7

表-2 設計基準強度と室内配合試験強度の比: $\Lambda (= \gamma \cdot \lambda)$

	設計基準強度と室内強度の比: Λ		
	V=20%	V=30%	V=40%
q_{ucx} を下回る確率 3%以下	1/2.6 =1/3	1/3.8 =1/4	1/7.5 =1/8
" 5%以下	1/2.3 =1/3	1/3.0 =1/3	1/4.5 =1/5
" 15%以下	1/1.8 =1/2	1/2.3 =1/3	1/2.6 =1/3

※但し、 $\lambda = 1/1.5$ と仮定する。($\lambda = 1/1.0 \sim 1/2.0$)

(3) 現場強度と設計基準強度の実績

CMC工法による深層混合処理パイル現場強度と設計基準強度の実績について整理して図-4に示す。ただし、実績においては、

$$q_{ur}^* = 4 \cdot q_{ucx} \quad q_{ur}^* : \text{室内配合試験目標強度}$$

として、セメント添加量 (α) が決定されている。

いま、CMCパイルの現場強度と室内強度の比 (λ) は前述したように、 $\lambda = 1/2 \sim 1/1$ であるために、図-4に示す現場強度と設計基準強度の関係も、現場強度と設計基準強度の比 (q_{ur}/q_{ucx}) は

$$\text{平均値} \quad (q_{ur}/q_{ucx})_{\mu} = 6.28$$

$$\text{標準偏差} \quad (q_{ur}/q_{ucx})_{\sigma-1} = 2.04$$

となっている。しかし、同図からも明らかなように、 $q_{ur}/q_{ucx} = 1 \sim 2$ のデータも存在している。この $q_{ur}/q_{ucx} = 1 \sim 2$ という値は、 $(q_{ur}/q_{ucx})_{\mu} - 2.5(q_{ur}/q_{ucx})_{\sigma-1}$ に相当することから、現場強度が設計基準強度を下回る確率が3%未満と考えられる。即ち、「現場強度において設計基準強度を下回らない」管理が行われたことを示している。

以上から、 $[q_{ur}^* = 4 \cdot q_{ucx}]$ でセメント添加量を決定したCMCパイルは、「現場強度の平均値は設計基準強度の6倍程度発現するが、設計基準強度を下回る現場強度は出現していない。」ことが判る。

4. まとめ

深層混合処理パイルの強度を変動係数 $V_f = 30\%$ 以下のバラツキの少ない品質の良いパイルに造成するためには、最小添加量として $\alpha = 100 \text{ kg/m}^3$ 程度となる。

また、深層混合処理パイルのバラツキが変動係数 $V_f = 30\%$ 程度であるならば $[q_{ur}^* = 4 \cdot q_{ucx}]$ によるセメント添加量の設定は、パイルの現場強度が設計基準強度を下回る確率が3%以下であることを意味し、実績からも現場強度が設計基準強度を下回らないような設定であると判断される。

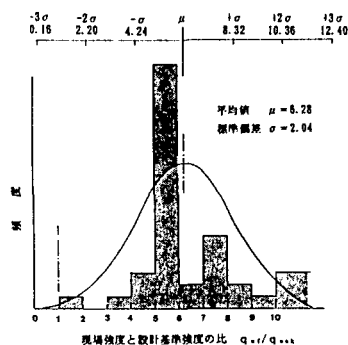


図-4 現場強度と設計基準強度の関係
: CMC