

III-B 345

重錘落下締固め工法の運動量に基づく設計法

大阪市立大学工学部 正 大島昭彦 高田直俊

まえがき 重錘落下締固め工法は、対象とする地盤をある打撃点間隔でまず格子状に打撃し、次にその打撃点の中間を、さらにその間を打撃するといういわゆるシリーズ施工が採られる。この工法の現行設計法は、打撃仕様をエネルギー管理手法に基づく経験則から決め、シリーズ施工における締固め効果と施工効率を左右する打撃点間隔も経験的に目標改良深度に等しく採っている。筆者らは、これまでに地盤の1ヶ所を打撃（単点打撃と呼ぶ）した場合の締固め効果の及ぶ範囲（締固め深度、締固め半径）が総運動量から推定できること¹⁾、シリーズ施工における適切な打撃点間隔は単点打撃における締固め半径から決定できること²⁾を報告した。今回はこれらの結果を踏まえて砂質地盤に対する運動量に基づく設計法を提案した。実験結果の詳細については文献1)、2)を参照されたい。

単点打撃における締固め範囲

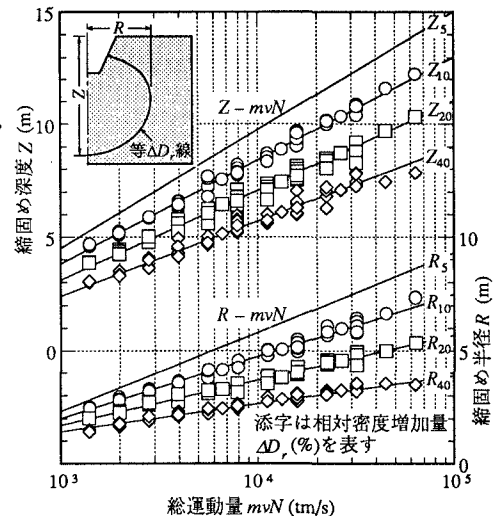
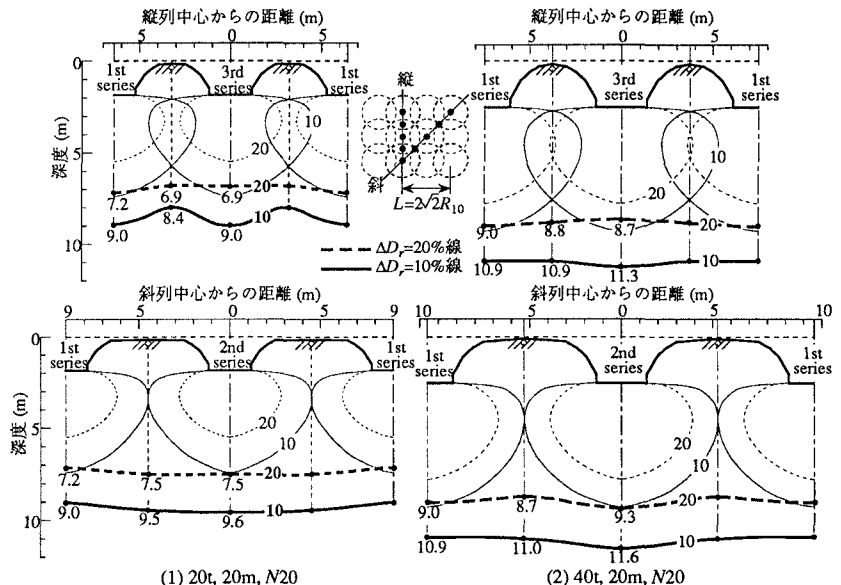
図-1に種々の打撃仕様の単点打撃の遠心模型実験の地盤変形から求めた締固め範囲（締固め深度 Z 、締固め半径 R ）と総運動量 mvN の関係を示した¹⁾。 m は重錘質量(t)、 v は打撃時の速度(m/s) ($=\sqrt{2gH}$, H は落下高)、 N は打撃回数である。締固め範囲は相対密度増加量 ΔD_r で定義している(Z , R の添字は ΔD_r (%)の値を表す)。ただし、 Z_5 と R_5 は、 Z_{10} , Z_{20} , Z_{40} と R_{10} , R_{20} , R_{40} が図-1に示すように等間隔となったので外挿で求めた。この関係は、コーン貫入抵抗の増加から求めた Z_5 , Z_{10} , Z_{20} と R_5 , R_{10} , R_{20} とはほぼ一致すること¹⁾、最大粒径0.425~4.75mm、細粒分含有率6~44%の砂質地盤で、初期地盤密度25~50%の範囲ではほぼ成立すること^{3),4)}、また地下水位の影響はあまりないこと⁵⁾を調べている。

シリーズ施工における改良深度

図-2に3シリーズ施工をシミュレートした12点打撃の遠心模型実験のコーン貫入抵抗増加から求めた縦列と斜列打撃点間の $\Delta D_r=10\%$ （太実線）、20%（太破線）の分布域を示した²⁾。図には単点打撃の $\Delta D_r=10\%$ （細実線）、20%（細破線）

の分布も書き入れた¹⁾。打撃の重ね合わせ効果によって、単点打撃よりも深い位置まで密度増加が見られる。この図は対象領域全域を単点打撃以上の改良深度とする最大間隔で定義した適切な打撃点間隔 $L=2\sqrt{2}R_{10}$ （打撃点の最小間隔は $\sqrt{2}R_{10}$ ）の結果を示している。これは対象領域全体を単点打撃の締固め半径 R_{10} の円が隙間なく占める最大間隔に相当する。

シリーズ施工における相対密度増加量 ΔD_r を改良

図-1 単点打撃の締固め範囲と総運動量の関係¹⁾図-2 シリーズ施工における相対密度増加量分布（打撃点間隔 $L=2\sqrt{2}R_{10}$ ）

度と呼び、これが地盤内で現れる深さを改良深度 D_{AD} と定義した。表-1に図-2から求めたシリーズ施工における改良深度 D_{10} 、 D_{20} の平均値と単点打撃における締固め深度 Z_5 、 Z_{10} を比較した。 D_{10} 、 D_{20} は、それぞれ Z_5 、 Z_{10} とほぼ等しい。

運動量に基づく設計法 改良深度 D_{AD} は締固めの深さを、打撃点間隔 L は締固めの面的な均一性を表す指標である。適切な打撃点間隔 L は、シリーズ施工数 n に応じて図-1の単点打撃の締固め半径 R_{10} の円が隙間なく占めるように次式で決定する²⁾。

$$1 \text{ シリーズ施工: } L_1 = \sqrt{2}R_{10}$$

$$2 \text{ シリーズ施工: } L_2 = 2R_{10}$$

$$3 \text{ シリーズ施工: } L_3 = 2\sqrt{2}R_{10}$$

一方、シリーズ施工における改良深度 D_{10} 、 D_{20} は、単点打撃の締固め深度 Z_5 、 Z_{10} にはほぼ一致したので、図-1の単点打撃の Z_5 、 Z_{10} 、 Z_{20} をそれぞれ D_{10} 、 D_{20} 、 D_{40} に読み替えた。

図-3、4にそれぞれシリーズ施工における改良深度 D 、打撃点間隔 L と総運動量 mvN の関係を算定式と合わせて示した。これが設計改良深度から打撃仕様と打撃点間隔を求めるチャートとなる（図-3の D は、図-4の L を探ることで得られる）。まず、改良目標に応じて改良度 ΔD_r を選ぶ。例えば通常の場合であれば $\Delta D_r=10\%$ に、特に締固めの程度を大きく探りたい場合には $\Delta D_r=20\%$ に選ぶ。次に、設計改良深度 D_{AD} を決め、図-3から地盤に与える総運動量 mvN を決定する。これから現場状況を考慮して重錘質量 m 、落下高 H 、打撃回数 N を決定する。次に打撃点間隔 L は、シリーズ施工数 n に応じて図-4によって、上で決めた mvN から決定する。いずれも L は第1シリーズの打撃点の間隔を表しており、2シリーズ、3シリーズ施工を採る場合も打撃点の最小間隔は、1シリーズ施工の場合の打撃点間隔 L_1 に等しい。ただし、1シリーズ施工よりも3シリーズ施工の方が、打撃効率が高く、締固めの均一性が高い⁶⁾。

敷地面積 $10,000\text{m}^2$ 、設計改良深度 $D=10\text{m}$ で、現行設計法と提案設計法を比較した例を表-2に示した。改良目標は現行設計法で増加 N 値 $\Delta N \geq 5$ 、提案設計法で $\Delta D_r \geq 10\%$ とした。単点当たりの打撃回数 N は提案設計法の方が多くなるが、打撃点間隔 L は提案設計法の方が広がるため、総打撃点数はほぼ半減し、総打撃回数も少なくなる。現行設計法による設計改良深度を提案設計法に対照させると、 $D < 10\text{m}$ では過小に、 $D > 10\text{m}$ では過大に評価された。

提案設計法は、通常の砂質地盤に適用可能で、適切な打撃点間隔を探るため、締固め効率が良く、合理的な手法と考えている。

参考文献

- 1) 大島, 他: 重錘落下締固めにおける密度増加域と運動量の関係, 第48回土木学会, III-330, 1993.
- 2) 大島, 他: 重錘落下締固め工法のシリーズ施工における打撃点間隔と改良範囲, 第50回土木学会, III-381, 1995.
- 3) 大島, 他: 重錘落下締固め工法における土の種類と改良範囲, 第50回土木学会, III-379, 1995.
- 4) 大島, 他: 重錘落下による締固め範囲に与える土の粒径と地盤密度の影響, 第31回地盤工学会(投稿中), 1996.
- 5) 大島, 他: 重錘落下締固めに与える地下水位の影響と埋戻し打撃の効果, 第51回土木学会(投稿中), 1996.
- 6) 大島, 他: 重錘落下締固め工法の改良深度に与えるシリーズ施工数の影響, 第31回地盤工学会(投稿中), 1996.

表-1 シリーズ施工における改良深度
(打撃点間隔 $2\sqrt{2}R_{10}$, 最小間隔 $\sqrt{2}R_{10}$)

打撃仕様	mvN	D_{10}	D_{20}	Z_5	Z_{10}
20t, 20m, N20	7,920tm/s	9.0m	7.2m	9.2m	7.9m
40t, 20m, N20	15,840	11.3	9.0	10.8	9.3

D_{10} 、 D_{20} : シリーズ施工における改良深度の平均値
 Z_5 、 Z_{10} : 単点打撃における締固め深度(図-1より)
 添字は相対密度増加量 ΔD_r を表す

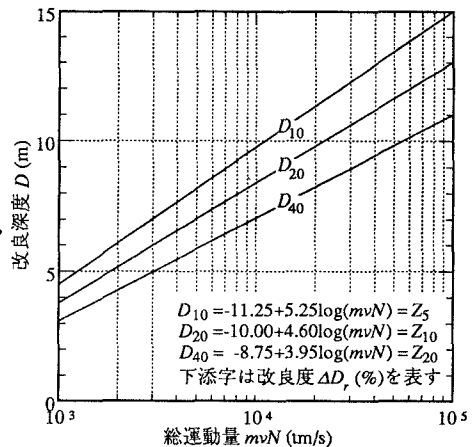


図-3 シリーズ施工における改良深度と総運動量の関係

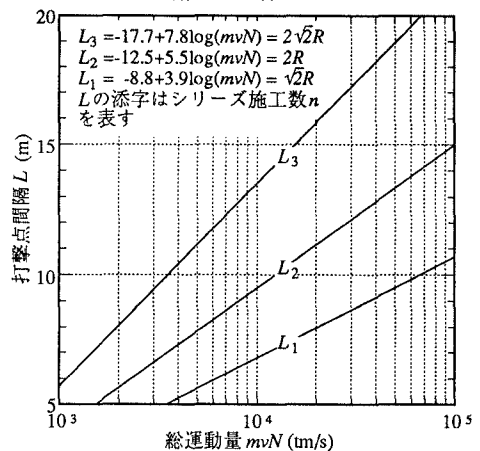


図-4 シリーズ施工における打撃点間隔と総運動量の関係

表-2 設計法の比較

設計法	現行設計法	提案設計法
敷地面積	10,000 m ²	
改良深度 D	10 m	
打撃仕様	$m=20 \text{ t}$, $H=20 \text{ m}$	
打撃回数 N	19 回	28 回
打撃点間隔 L (最小間隔)	10 m (5 m)	13.8 m (6.9 m)
総打撃点数	400 点	210 点
総打撃回数	7,500 回	5,880 回