

深層混合処理工法による改良体の品質と直接基礎への適用事例

Quality of Improved Soil Column by Deep Cement Mixing Method
and It's Application to Spread Foundation

二木 幹夫 (ふたき みきお)

国土交通省建築研究所 第4研究部長

中野 健二 (なかの けんじ)

不動建設(株)ジオ・エンジニアリング事業本部
技術統轄部 課長

小川 昭治 (おがわ しょうじ)

(株)日本設計 構造設計群主管

大西 智晴 (おおにし ともはる)

不動建設(株)ジオ・エンジニアリング事業本部
技術統轄部 主任

1. はじめに

深層混合処理工法による改良体を建築物などの直接基礎に適用する際、土層の変化に影響される改良体の強度のばらつき、および深度分布に関する設計上の取扱いと施工管理する上での品質の安定性が問題となってきた。

本論文では、土層条件が異なる改良体の内部強度の変動係数と実大コラム強度との関係、および施工品質の指標としての変動係数の安定性について述べ、液状化防止と直接基礎の支持を併用させる事例を通して、構造物基礎に適用される改良体の品質に関して考察する。

2. 実大コラム強度に関する解析

2.1 実大コラム試験概要

建設省総合技術開発プロジェクト「大都市地域における地震防災技術の開発(平成4~8年度)」の一環として、深層混合処理工法による実大コラムの一軸圧縮試験¹⁾が行われた。その中で図-1に示す試験体Aは、土浦市の上部に有機質土を有する粘性土地盤で試験工事を行ったもので、本工事ではRC3階建ての事務所ビルの直接基礎に適用された。同様に試験体Bは、清水市のほぼ均質な砂質地盤のもので、高さ11mの体育館の直接基礎に適用された。著者らは、実大コラム強度とコア

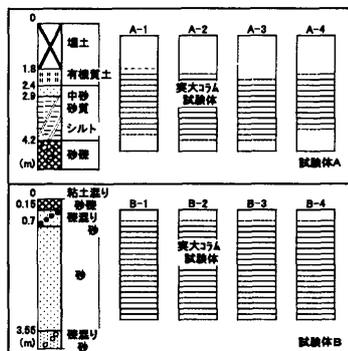


図-1 実大コラム試験体の採取状況

2.2 数値解析

実大コラムの一軸圧縮試験の数値解析として、内部強度の値を正規乱数に置き換えて有限要素法によるシミュレーション計算を繰返し行い、不均質なコラムの破壊強度の確率分布を求めた。

実大コラムの破壊状況は、最大強度の8割程度で縦方向のひび割れが発生し、荷重増加に伴ってひび割れが進展して、おおむね鉛直方向の分離破壊という脆性材料の特性を示している。解析では、このような顕著なひずみ軟化現象(極端な脆性破壊)について、固化土の応力~ひずみ関係を図-2に示すように硬化・軟化過程に当たるピーク応力前後で2本の異なる双曲線を用いて単純化し、要素の入力パラメーターを設定した。同図中には解析による実大コラムの応力~ひずみ関係も示している。

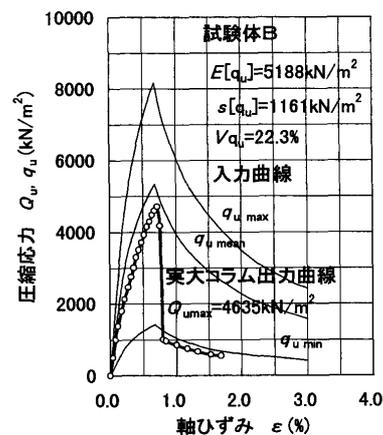


図-2 要素、実大コラム(解析)の応力~ひずみ関係

コラムを構成する要素の一軸圧縮強さ q_u として、正規乱数の平均値 $E[q_u]$ は、図-3に示すコラム内部強度の深度分布から、試験体Aでは上下層に分けて、試験体Bでは単一層として与えた。A, Bの2ケースについて、一つの変動係数 $Vq_u (=q_u \text{の標準偏差 } s[q_u] / q_u \text{の平均値 } E[q_u])$ に対して正規乱数を発生させたシミュレーション計算を各10回繰返し、 Vq_u を変化させてコラム全体としての一軸圧縮強さ Q_u の分布を求めた。双曲線の初期接線勾配は、試験結果の $q_u \sim E_{50}$ の関係により、破壊ひずみは、試験結果の平均値を一律に与えた。

2.3 実大コラム強度と内部強度のばらつきの関係

各試験体から25個ずつ採取したコア供試体の一軸圧縮強さ q_u の Vq_u と強度比(実大コラムの一軸圧縮強さ $Q_u / E[q_u]$)の関係を示すと図-4のようになる。

図中のハッチングで示した範囲は、試験体A, Bの解析により求めた強度分布を表している。Bの単一層に対

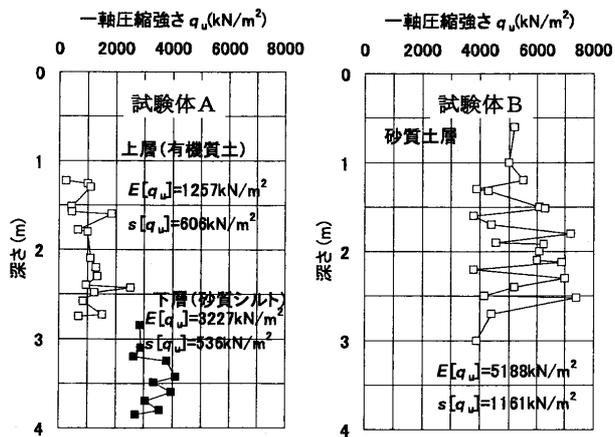


図-3 コラム内部強度の深度分布

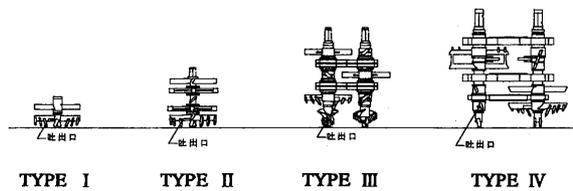


図-5 異なる攪拌機構

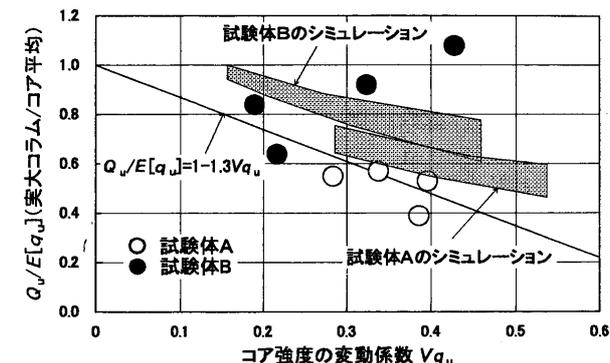


図-4 変動係数と強度比 (実大コラム/コア平均) の関係

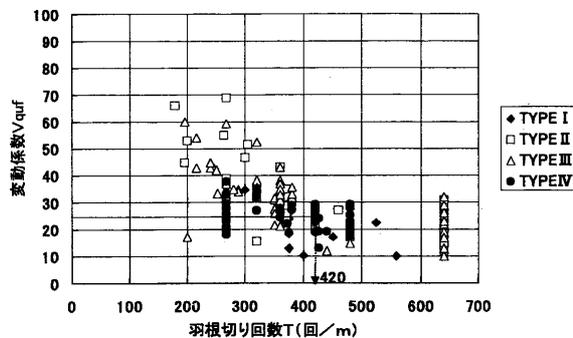


図-6 羽根切り回数 T と変動係数 V_{q_{uf}} の関係

表-1 ローム地盤での変動係数 F 検定例

現場名	試料個数 n	平均強度 q _{uf} (kN/m ²)	変動係数 V _{q_{uf}}	V _{q_{uf}} ² / a	F(0.01)	μ _u F(0.01) / b	判定 a<b
川崎市上麻生区	37	4382	0.287	0.082	1.59	0.109	OK
川崎市宮前区	26	1351	0.218	0.048	1.69	0.116	OK
川崎市五力田	37	1805	0.245	0.060	1.59	0.109	OK
三島市	26	2593	0.268	0.072	1.69	0.116	OK
宇都宮市	36	2080	0.287	0.082	1.59	0.109	OK
平均値			0.260	0.069			

検査法Aに用いる変動係数: V_{q_{uf}} = 0.26(平均値)

して、Aは上下層を含めた全体の平均値で強度比を表した。そのためAの方がBより強度比が小さくなっている。これは、Aの上層のようにコラム強度が小さい層があると、全体強度がその弱層で決まることを示している。解析では、弱層の層厚や深度による影響度を考慮することができる。

また図中 Q_u/E[q_u]=1-1.3 V_{q_u} の実線は文献1)の V_{q_u} と Q_u/E[q_u] の平均的な関係による設計基準強度 F_c(Q_uの平均値) の設定値を示しているが、Aのような強度分布の試験結果に対しても比較的良く対応している。

3. 攪拌機構の異なる施工法による改良体の品質

3.1 攪拌機構

図-5に示す四つのタイプの攪拌機構は、土の共回り現象を防止し、同等の品質を有する改良体を効率的に造成するとともに施工規模や搭載する機械の大きさに応じて使い分けられている。これらは、上下相互逆回転機構 (TYPE I)、カム式可動板による共回り防止機構 (TYPE II)、2方向複合攪拌機構 (TYPE III) などを組合せ、それぞれのタイプに適した攪拌方法を用いている。

改良体の品質は、(1)式に示す攪拌翼の羽根切り回数 T (回/m) により表されることが分かっている。

$$T = \frac{\Sigma m \cdot N}{v_e} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、攪拌翼の Σm: 総枚数 (枚),
N: 回転数 (回/min), v_e: 昇降速度 (m/min)

施工の安定性に大きな影響を及ぼす羽根切り回数 T と変動係数 V_{q_{uf}} の関係が図-6のようになることから、攪拌機構に適した羽根切り回数の設定を行っている。

3.2 品質の安定性

これらの異なる攪拌機構において、地盤ごとに設計上必要とされる変動係数などを設定できるような施工の安定性を確認するため、羽根切り回数 T が420(回/m)以上の施工品質で実績データを整理し、地盤ごとに5現場について、1現場当たり25個以上採取したコア供試体の一軸圧縮強さの変動係数の F 検定を行っている。表-1の例では、検定結果から TYPE IIIにおいてローム地盤の各5現場の変動係数について有意差がないことから変動係数の推定値 V_{q_{uf}} として平均値を用いることができることが確認された。

4. 液状化防止と直接基礎への適用事例

4.1 概要

山形県酒田市、鶴岡市に計画された地上3階建てまでの大規模な学校建築 (以下、本計画建物) の基礎の設計において深層混合処理工法を適用するに当たり、液状化防止のために必要な格子状改良と、これに支持される連続基礎という合理的な設計を行った。

4.2 地盤条件

図-7に敷地内で得られたボーリング柱状図を示す。同図より、敷地の地盤構成は表層部分の表土やシルト層

論文

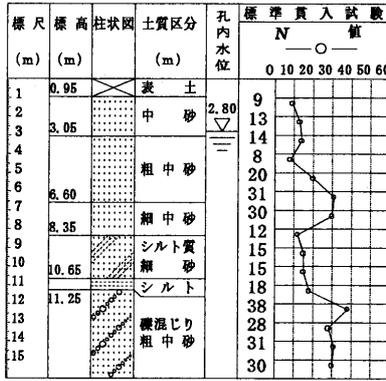


図-7 敷地内のボーリング柱状

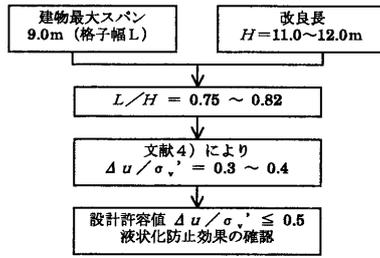


図-10 格子間隔の設計フロー

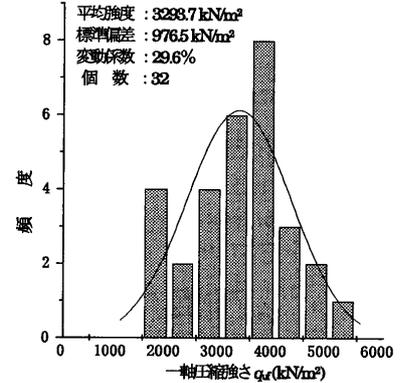


図-11 ボーリングコア強度のヒストグラム

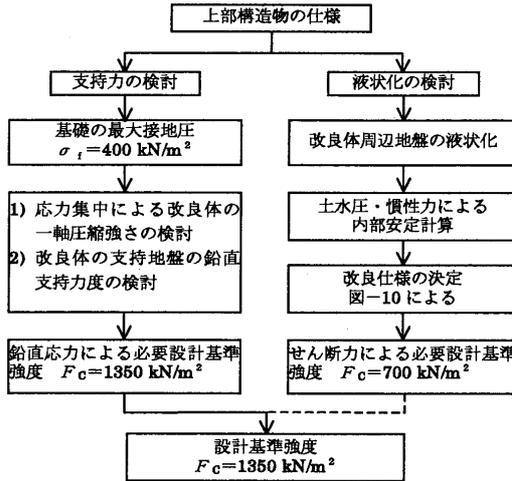


図-8 改良地盤の設計フロー

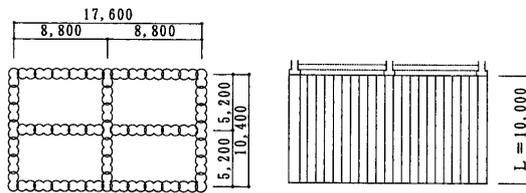


図-9 安定計算解析モデル

を除き、地盤全体にわたって砂主体の層で構成されていることが分かる。また、(社)日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」により、一次設計レベルにおける原地盤の液状化判定を行うと、地表面下約10.0~12.0 m付近までの砂主体の層が液状化するため、設計基準強度の設定には液状化と支持力の両面からの検討が必要となった。

4.3 設計基準強度の設定

本計画建物の改良地盤の設計フローを図-8に示す。また、一次設計レベルの地震時に発生する液状化による土水圧、慣性力に対する外部安定、および内部安定計算は図-9に示す格子間隔により検討した。

この結果、本計画建物の支持地盤として改良体に要求される設計基準強度 F_c は、支持力および液状化に対するせん断強度を満足する $F_c = 1350 \text{ kN/m}^2$ となった。

4.4 改良長と格子間隔の設定

改良体の支持地盤は設計地耐力 $\sigma_f = 400 \text{ kN/m}^2$ と改良体下地の地盤強度の関係から、非液状化層の砂地盤に1.0 m以上貫入することを原則とし、図-10のフローに

よって改良長 H と格子間隔 L を設定をした。

一般に、過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma_v'$) が0.5以下であれば液状化防止効果が得られると報告されており^{3),4)}、このことから、改良地盤の液状化防止効果が十分期待できる範囲の設計仕様と考えられる。

4.5 施工結果

施工仕様として、3.1におけるTYPE-IIIを使用し、羽根切り回数 T を $T = 420$ (回/m) 以上と設定した。改良体強度の施工管理値として現場平均強度 q_{uf} を F_c と $V_{q_{uf}}$ の関係から $q_{uf} = 2000 \text{ kN/m}^2$ とした。

酒田市、および鶴岡市工区において採取したボーリングコアのうち、酒田市の砂質土層で得られたコアの一軸圧縮強さのヒストグラムを図-11に示す。砂礫層で採取したコアの強度が大きいため、現場平均強度および変動係数 $V_{q_{uf}}$ が29.6%とやや大きめであるが、3.2で述べた F 検定によれば、これまでの実績と比較しても有意差はなく、品質は安定している。

5. まとめ

改良体強度の変動係数は、脆性材料であるために実大コラム強度に影響し、施工する上では、適切な羽根切り回数などで管理することが重要である。今後は、直接基礎に適用するに当たり、本論で取り上げたように異なる土層条件による強度のばらつきを考慮した数値解析や液状化防止を兼用させるような地盤改良の特色を生かした経済設計を図るべきであろう。

参考文献

- 1) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針，1997。
- 2) M. Futaki, K. Nakano, Y. Hagino: Design strength of soil-cement columns as foundation ground for structures, Proceedings of IS-TOKYO '96, The 2nd International Conference on Ground Improvement Geosystems, pp. 481~484, 1996.
- 3) 日本建築学会構造委員会，基礎構造運営委員会：地盤改良工法に関する研究の現状，pp. 3-15~3-18, 1997
- 4) 古賀泰之ほか：深層混合処理工法による砂地盤の液状化対策に関する模型振動実験（その2），第23回土質工学研究発表会，pp. 1019~1020, 1988。

(原稿受理 2000.11.30)