軟弱地盤の改良工法について　(その2)

― セメント系地盤改良における配合設計 ―

勝部祐治

1. まえがき

軟弱地盤の改良工法として、セメント系の固化材を現地の土と混合して安定を得ようとするセメント系地盤改良が、近年数多く採用されている。セメント系地盤改良には、浅層改良と深層改良があり両者とも多用されているが、ここでは深層改良に注目して、その配合設計についてまとめてみることにする。

2. 配合設計の目的

セメント系地盤改良による改良効果に影響を与える要因として次の事項が挙げられる。

- 対象土の特性（自然含水比、液性限界、塑性限界、pH、有機物含有量、粒度組成）etc
- 固化材の種類及びその量
- 混合の程度　・養生条件

配合設計の目的は、現位置における設計強度を満足し、より経済的な施工を行なうために、室内配合試験等を実施し、現位置強度を予測することにある。

3. 配合設計の仕様

配合設計は、施工に対して以下の仕様を決めるものである。

a. 固化材の種類

セメント系固化材は「一般軟弱土用」、「高有機質土用」、「ヘドロ用」、「産業廃棄物用」等用途別に準備されているため、対象土に適合したものを選定する。

b. 配合量

設計強度を満足する配合量を経済的に決定する。

c. 水：セメント比

施工機械に適合する水：セメント比とする。

d. 養生日数

地盤改良の目的、施工の緊急性、及び改良効果の経日変化等から決定する。

4. 配合設計の留意事項

配合設計を行なうにあたって以下に示す留意事項が挙げられる。

1) 深層改良における施工方式の違い

深層改良（深層混合処理工法）では，施工方法を主との撹拌方式によって分類すると，「機械撹拌工法」と「高圧噴射撹拌工法」がある。（表-1参照）

表－1　深層混合処理工法の施工方式による分類例

深層混合処理工法（DMM）	高圧噴射撹拌工法	スラリー噴射方式	CCP工法，ミニマックス工法（MM工法）
		スラリー・エア噴射方式	JSG工法
		スラリー・エア・水噴射方式	コラムジェットグラウト工法
	高圧噴射＋機械撹拌工法	スラリー噴射＋機械撹拌方式	大口径ミニマックス工法（JMM工法），HQS工法
	機械撹拌工法	DJM系方式	CMC工法，DCM工法，PDCM工法，ダルト工法
		HCM系方式	DeMIC工法，SWING工法，DCCM工法
		ケーシオール系方式	JST工法，オノコラム工法，SEC工法，SMW工法，MR-D工法，CSI工法，MIP工法，SSS工法，YSW工法，RMP工法，ESC ワイルドイネ工法
		特殊混合方式	DJM工法

固化材を混合するにあたって，「機械撹拌工法」では，ある程度自由に配合量を変化することができるが，「高圧噴射撹拌工法」では，施工上最低配合量が限定される。これは，高圧噴射における時間当りの吐出量が決められ，セメントスラリーの粘性を確保するために水：セメント比が制限されるためである。

配合設計にあたっては，「高圧噴射撹拌工法」における最低配合量を把握しておく必要がある。

2) 室内試験強度と現場強度の関係

理想的な固化材の混合を行なう室内試験強度に比べて，現場における混合は，多くの不確定要素を含んでいるため，一般に室内試験強度より現場強度は低く得られる。図-1に示すのは，深層改良で行なわれた室内強度と現場強度の実績であり，これから

$$q_{uf} = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{5}\right) q_{ul}$$

q_{uf} ：現場強度
q_{ul} ：室内強度

の関係が得られている。

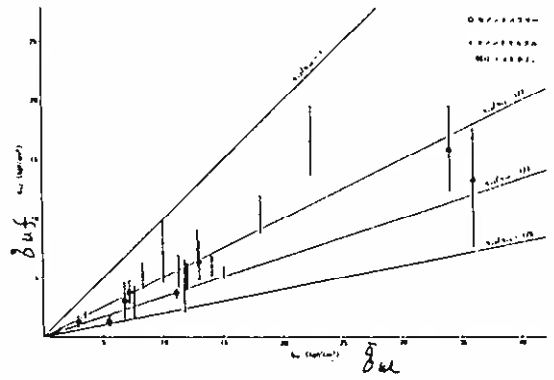

図-1. 室内試験強度 q_{ul} ～現場強度 q_{uf} 関係

配合設計において，q_{uf}/q_{ul} をどのように設定するかは，工費の上で非常に重要な問題である。

3) 養生日数の問題

配合設計を行なう上で，目標設計強度を得る養生日数をいかに設定するかは，工費上問題となる。一般に緊急を要する場合は7日，長期強度を期待する場合は28日がとられている。

5. 配合設計の実際

配合設計は，対象土と固化材を実際に混合し，室内強度の発揮傾向を把握することによって行なわれる。 3項に示すように 対象土に応じて 固化材の種類と その配合量を 決定する必要がある。 実際に 多数の室内配合試験を行なって 最も経済的な配合設計を行なうことが望ましいが，費用および時間的な面である程度制限される。 従って現状では，過去の経験に基づいて，数ケースの配合ケースを設定し，その範囲で配合設計を行なっている。

このため，配合ケースの設定をうまく行なう必要があり，その目安として 対象土の土性があげられる。 現状では図-2に示すフローで配合ケースの設定を行なっている。以下に各項目に対する配合設計の実際について示す。

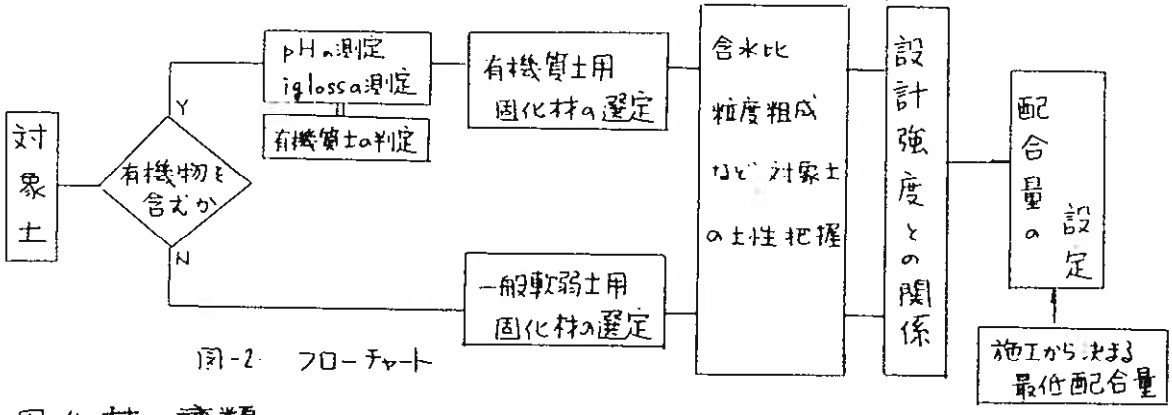

図-2 フローチャート

1) 固化材の種類

9号線バイパスの古志原ボックスにおける仮設土留工で行なわれた，高圧噴射撹拌工法による地盤改良の配合試験例を以下に示す。(図-3)

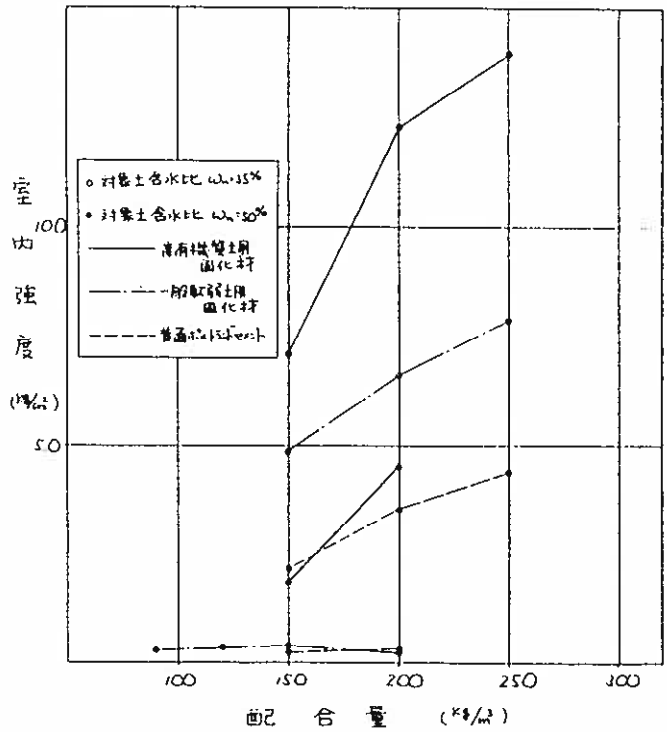

図-3 配合量と室内強度の関係(有機質土)

改良対象土は，含水比が $\omega_n = 35 \sim 50\%$ と低い有機質土である。 含水比が高い場合は高有機質土用固化材のみで強度が発揮された。 含水比が低い場合においても，高有機質土用固化材が普通ポルトランドセメントに比べて約3倍の強度が得られている。

また，配合量は，$100^{kg/m^3} \sim 250^{kg/m^3}$ の範囲で設定され，室内強度との間に比例関係が得られている。

配合設計は，「高有機質土用固化材」を採用し，良好な施工結果が得られた。

次に，松江市の沖積軟弱土層において行なわれた地盤改良の配合試験例を示す。(図-4)　改良対象土は，自然含水比が 60%～70% の沖積粘土である。　一般軟弱土用固化材と普通ポルトランドセメントによる強度を比較するとあまり変らない結果が得られている。これは，水：セメント比が　一般軟弱土用固化材の場合　1:1.2　なのに対し，普通ポルトランドセメントの場合が　1:1.0　であることにも影響しているものと思われる。　しかし，有機質土に比べて沖積粘土の場合，固化材による強度差が小さいことがわかる。

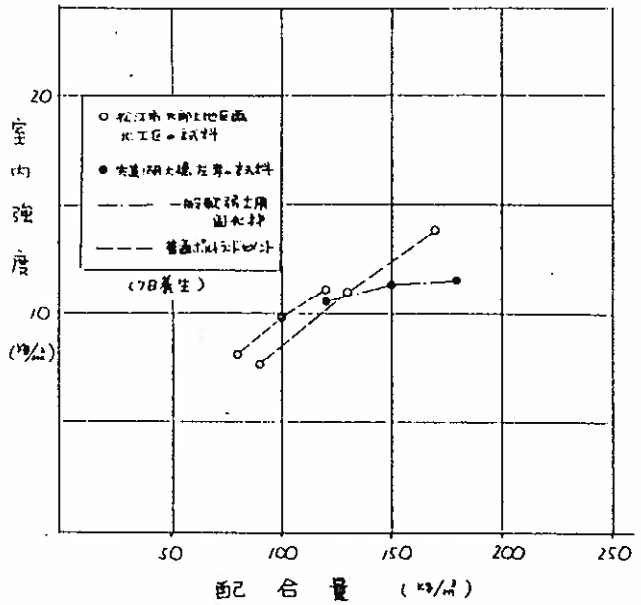

図-4　配合量と室内強度の関係（沖積粘土）

2)　配合量

配合量は　図-3，図-4 に示したように，100 kg/m³ ～ 200 kg/m³ の配合量の範囲では室内強度の間にほぼ比例関係が得られる。しかし，極端な貧配合の場合や，過大配合の場合は比例関係が成立しないものと推定される。

3)　養生日数

松江市内で行なわれた配合設計における養生日数と強度の関係を示すと図-5 のようになる。

養生日数が経過するにつれて，強度は増加する。　沖積粘土は　28日/7日 = 1.5～1.8　なのに対して，有機質土は，28日/7日 = 1.2～1.3　となり，有機質土の長期強度はあまり期待できないことがわかる。しかし，「有機質土用固化材」を使用した場合は 28日/7日 = 1.5 程度が期待できる。

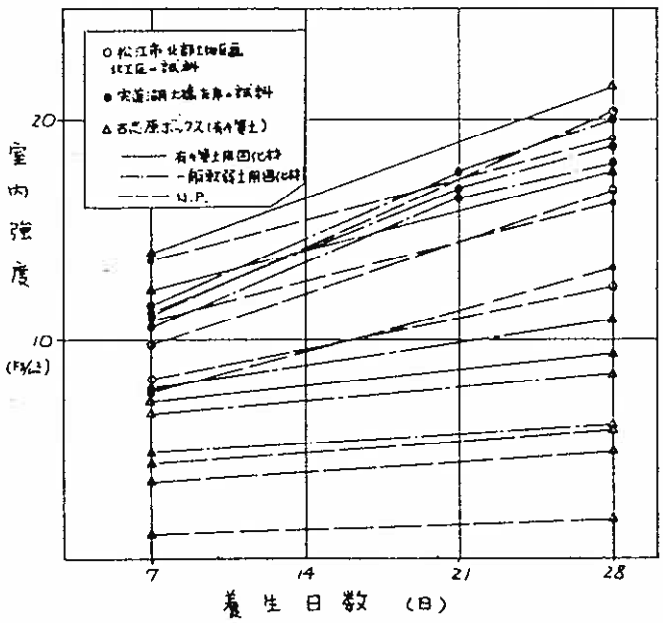

図-5　養生日数と室内強度の関係

4) 室内強度と現場強度の関係

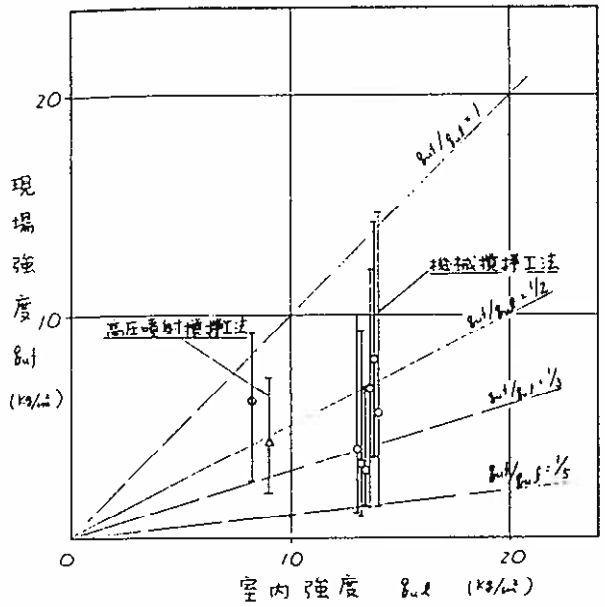

図-6 室内強度と現場強度の関係

4項に示したように，配合設計の重要な要素に室内強度 q_{ul} と現場強度 q_{uf} の比 q_{uf}/q_{ul} がある。松江市内で行なわれた配合設計における q_{uf}/q_{ul} を図-6に示した。

現場強度は地盤改良後ボーリングにより改良体を採取し，一軸圧縮試験を行なって求めたものである。図中，○，△は改良体の平均強度を示し，Iは強度値の範囲を示したものである。

図-6より以下のことが言及される。

① 改良体の現場強度は，図-1に示した傾向と類似し，$q_{uf}/q_{ul}=1\sim\frac{1}{5}$ に分布している。

② 平均強度に注目すると $q_{uf}/q_{ul}=1/2\sim1/3$ の範囲にある。

③ 機械攪拌による改良体強度のバラツキが大きく，高圧噴射攪拌による改良体が比較的均一な状態となっている。

6. 配合設計についての考察

前項までに，配合設計の概要と松江市内で行なわれた実際例をまとめてみた。これらの事項を踏えて以下に配合設計について考察する。

1) 施工方式と配合設計

深層改良の場合，施工方法は4項1)に示すような種類がある。「高圧噴射攪拌」の場合，施工上から最低配合量が決められている。これは，セメントスラリーの粘性と改良後の強度の関係から水セメント比の有効範囲を設定し（水：セメント＝1：1.2～1：1.5），スラリー吐出量とロッドの引上げ速さから決めている。ロッドの引上げ速さを制限しているため，最低配合量が設定されるのであるが，施工上は，過大な配合を行なうケースもあり得る。

「高圧噴射攪拌」の場合，配合設計は，水：セメント比を変えて行なえば，ある程度施工上の過大配合を防ぐことができると考えられる。

2) 現場強度/室内強度と配合設計

q_{uf}/q_{ul} の値をどのように設定するかによって，地盤改良における工費は大きく違ってくる。 q_{uf}/q_{ul} の設定は 5 項で得られた結果を考慮すれば，q_{uf}/q_{ul} = 1/3 ～ 1/2 程度とすべきであると考えられる。

「機械撹拌」と「高圧噴射撹拌」を比較すると，一見「機械撹拌」が直接固化材を混合するため有利に思えるが，実際には均質ではなく，強度のバラツキが大きい。「高圧噴射撹拌」は礫などを含む土質では均質な改良が難しいが，均一な粘性土の場合は，かなり均質な改良ができるものと考えられる。

3) 養生日数と配合設計

セメント系固化材による改良を行なう場合，養生日数が経過すればより高い強度が得られる。地盤改良の目的をよく理解した上で，養生日数を決定しなければ，過大配合となる危険性がある。施工との兼合いを十分検討する必要があると考える。ただ，有機質土の場合，長期強度増加が期待できないこともあるため，注意する必要がある。

4) 固化材の種類と配合設計

固化材の種類による改良強度差は確実に認められ，特に有機質土で顕著である。固化材の単価は，特殊なものほど高価になるため，経済的な改良を行なうためには，固化材の選定と配合量の決定を慎重に行なう必要がある。これは，改良工事の規模（改良する体積）とも関連する。

7. あとがき

セメント系地盤改良の配合設計について，概要，実例，考察という順でまとめてみた。配合設計を行なう場合，やはり配合ケースの設定が，設計費用の面を考えると最も難しい問題である。現状では，施工側からのアドバイスを信頼して設定している状況である。今後は，データの蓄積により「この土なら，この固化材をいかほど混合する」というような，体系を作りあげていくことが必要であると思われる。

セメント系地盤改良は，今後ますます多くの工事に利用され，発展するものと思われる。今後とも，同工法の動向に注目していきたいと考えている。

参考文献

「セメント系固化材による地盤改良マニュアル」　社団法人 セメント協会

「ＣＤＭ 設計と施工マニュアル」　CDM研究会

当社報告書

「北部土地区画整理事業（北工区）モデル地区街路築造工事調査 設計」

「北部土地区画整理事業都市計画街路 3.4.27号線 盛土工事土質調査」

「松江鹿島美保関線地盤改良工事に伴う管理調査」

「古志原ボックス第２工事土留め工法の検討書」

「古志原ボックス第３工事土留め工法に対する調査検討」