

セメント混合固結土の強度・変形特性に関する研究 (その2)

——初期含水比, 拘束圧力・排水条件, 養生温度の影響——

西林 清 茂 細 谷 芳 己
小日向 隆

Studies on Strength and Deformation Properties of Soils Stabilized with Cement (Part 2)

——Influences of Initial Water Content, Confining Pressure,
Drainage Conditions, and Curing Temperature——

Kiyoshige Nishibayashi Yoshimi Hosoya
Takashi Kohinata

Abstract

As factors influencing the strength of cement-mixed soil, the water content of untreated soft clay, curing temperature at the initial stage of hardening, and difference of drainage conditions under confinement were taken up, and the following were learned;

(1) The strength of cement-mixed soil is influenced greatly by water content of untreated soft clay. The smaller that initial water content is, the higher is the strength.

(2) The lower that curing temperature at the initial stage of hardening is, the higher is the long-time strength (σ_{28}). The longer that the term of curing at the initial stage of hardening is, the higher is the long-time strength (σ_{28}). However, the difference between the strength at curing temperature of 5 to 40°C and the strength at standard curing temperature (20°C) is within 15%.

(3) Under conditions allowing drainage during curing the strength increases with increase in confining stress, but under conditions of no drainage during curing, the strength is independent of confining stress.

概 要

セメント混合処理土の強度に及ぼす影響因子として, 混合前の対象土の含水化, 硬化初期の養生温度, 拘束圧下の排水条件の相違を取り上げ, 室内試験を行なった結果, 以下のことがわかった。

- (1) セメント混合土は対象土の含水比に大きく影響を受け, 混合前の初期含水比が小さいほど強度は大きい。
- (2) 硬化初期の養生温度が低いほど長期強度(σ_{28})は大きく, また硬化初期の養生日数が長いほど長期強度(σ_{28})は大きくなる。しかし, 20°Cで標準養生された場合に比較して, 5°C~40°Cの養生温度ではその差は15%以内と小さい。
- (3) 混合初期の養生中に排水が許される条件下では拘束圧力の増加とともに強度は大きく増加するが, 非排水条件下では拘束圧力の影響を受けない。

1. まえがき

軟弱な粘性土とセメントを攪拌混合して地盤を改良固化する場合, その強度は対象土の土性や地盤条件, 安定材の種類や配合条件, 養生条件など多くの因子に影響を受ける。表-1は従来より改良土の特性に及ぼすとされ

ている影響因子についてまとめたものである。

ところで, 現場におけるセメント混合時の温度は季節の変化を大きく受ける。特に, 混合直後にサンプリングされた試料が室内で標準養生されるまでの温度差, 時間差は, 所要日数経過後の強度試験結果にどのように影響するのかは明確でない。

また、深層混合工法などで造成されたパイルが深さ方向に強度大となって現われる傾向のあることは、一般に良く知られている事実である。その要因として拘束圧力や排水条件が影響するといわれているが、この問題を具体的に取り上げた研究は見当たらない。

本文は、セメント混合固結土の強度に影響を及ぼすと考えられる種々の要因のうち、地盤の初期含水比、拘束圧力・排水条件、養生温度・養生時間差など硬化するまでの初期条件が強度に及ぼす影響に注目した室内試験を行なった結果、成果を得たのでここに報告する。

2. 実験概要

2.1. 対象土の土質性状

実験に使用した対象土は川崎沖海成粘土であり、その土質性状は表一2に示す通りである。

比重 G	2.68	
自然含水比 W (%)	74.0	
コンテ ンシ ス	液性限界 W _L (%)	68.0
	塑性限界 P _L (%)	30.3
	塑性指数 I _p	37.7
	砂分 (%)	7.3
粒 度	シルト分 (%)	40.7
	粘土分 (%)	52.0
	pH	8.6
有機物含有量 Lig (%)	7.0	

表一2 対象土の土性

2.2. 試験方法

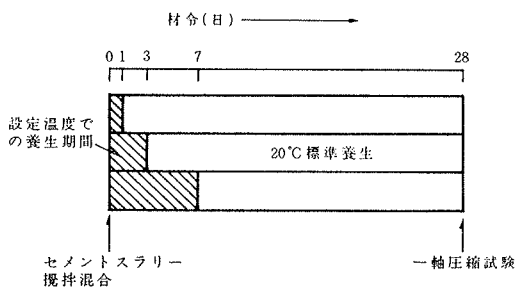
2.2.1. 初期含水比の影響に関する配合試験

対象土の初期含水比が W≒80, 100, 120, 140% になるよう加水しながらソイルミキサーで十分混合した試料に、水・セメント比 W/C=1のセメントスラリーを対象土の湿潤重量比で10%添加した。

2.2.2. 初期養生温度の影響に関する配合試験 現場混合土のサンプリング時の温度や予測される仮置き期間を考慮して下記の条件とした。

- 硬化初期の養生温度: 5°, 10°, 15°, 30°, 40°C
- 初期養生温度による仮置き期間: 1, 3, 7日

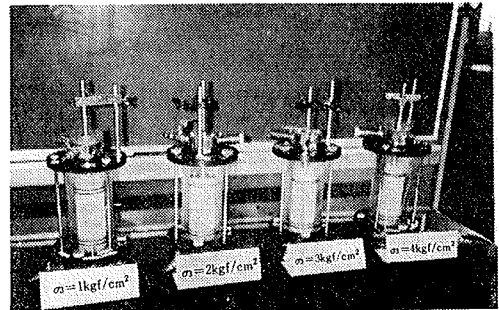
対象土は、含水比W≒90%に調整したものを使用し、水・セメント比 W/C=1のセメントスラリーを対象土の湿潤重量比で10%添加し、ソイルミキサーで攪拌混合後、径5cm、高さ12.5cmの鋼製モールドに充填し、自動環境装置で試験時材令28日まで養生した。図一はこ



図一 養生温度と期間の設定に関する説明図

対象土に関するもの	固化材に関するもの	その他
対象土の種類	固化主材の種類	混合程度
粒度組成	水・セメント比	養生温度
含水比	添加量	拘束圧力
コンシステンシー	添加助剤	排水条件
有機物含有量	練り混ぜ水	試料径
pH		試験条件
粘土鉱物		

表一1 改良土の特性に及ぼす影響因子



写真一1 恒圧養生中の供試体

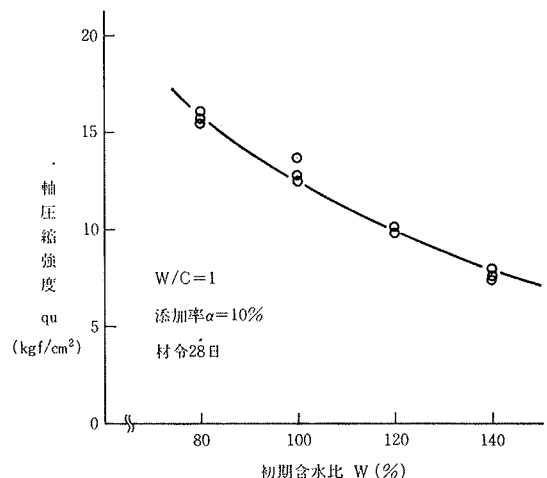
の試験条件の説明をしたものである。

2.2.3. 養生中の拘束圧力・排水条件の影響に関する配合試験 現場混合土が地盤中で受ける拘束圧力と排水条件を室内試験で再現するため、静的三軸圧縮試験機の圧力室を恒圧養生用セルとして使用した。(写真一)

拘束圧は σ₃=0, 1, 2, 3, 4 kgf/cm² とし、排水条件のものは上下端にろ紙とポーラスストーンを置いて、強度試験時までの28日間排水条件下にセットし、非排水条件のものは、恒圧養生用セルの排水コックを閉じて28日間非排水条件下にセットした。

3. 試験結果および考察

3.1. 対象土の初期含水比の影響



図二 対象土の初期含水比と一軸圧縮強度の関係

図-2は人工的に含水調整した対象土の初期含水比と一軸圧縮強度の関係である。強度の大きさは異なるが含水比の増加に伴い得られる強度が小さくなる傾向は一般の沖積粘性土地盤が示す傾向と同様である。

3.2. 初期養生温度の影響

一般に、室内配合試験における養生温度は20℃を標準としているが、養生温度が高くなれば水和反応・ポゾラン反応が活発になり強度が増大することが知られている。しかし、混合初期の養生温度や仮置き時間が強度に及ぼす影響については不明である。

図-3は2.2.2.で示した実験の結果を20℃で標準養生した供試体の一軸圧縮強度で除して無次元化したものである。図より、硬化初期の養生温度が低いほど28日後には大きな強度を発揮しており、また硬化初期の養生日数が長いほど28日後の強度が大きくなっている。特に20℃以上の養生温度になると温度が高いほど28日後の強度の伸びが大きい傾向にある。

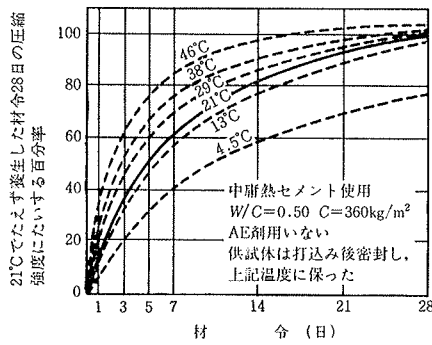


図-4 養生温度と圧縮強度との関係¹⁾ ことがわかる。

この結果を考察する前に、セメント混合体を代表するコンクリートの基本的な性質について示しておく。図-4は養生温度と強度の関係¹⁾であるが高い温度ほど強度発現が大きいという前述の結果を示している。

さらに、図-5は初期温度を2時間保った時の強度の発現状態²⁾を示したものであるが、初期の低い養生温度が長期強度に好結果を与えている。

以上のコンクリートにおける性状をもとにすれば、図-3の結果は以下のように整理される。図-6は理解を容易にするために初期養生温度を5℃、20℃、40℃に例をとって表わした模式図である。

すなわち、硬化初期には養生温度が低いほど強度発現は小さいが、その後20℃で標準養生されると、硬化初期に養生温度を低く抑えたも

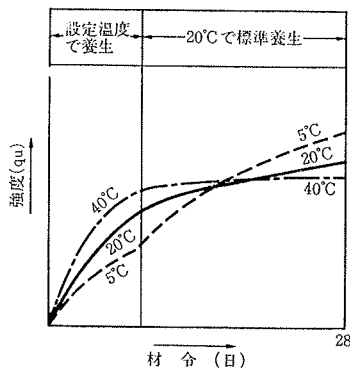


図-6 強度発現模式図

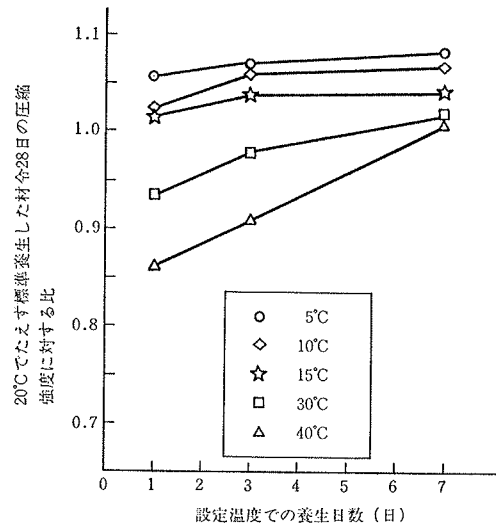


図-3 養生温度・養生日数と圧縮強度の関係

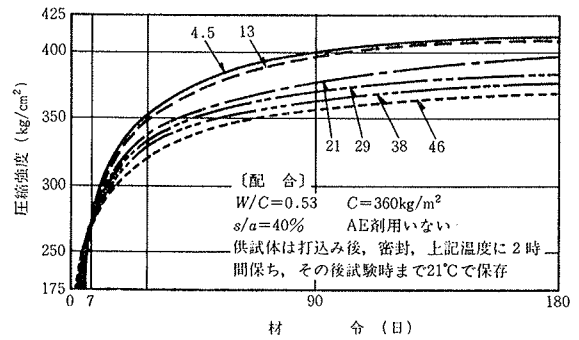


図-5 初期温度がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響²⁾

のは強度の伸びが大きく、最終的には標準養生温度20℃付近を境に逆転すると考えられる。そして、この設定温度での養生時間が長ければ、当初の強度発現の影響が大きくなり、その後の標準養生温度との効果が相互に影響した結果が図-3と考えられる。

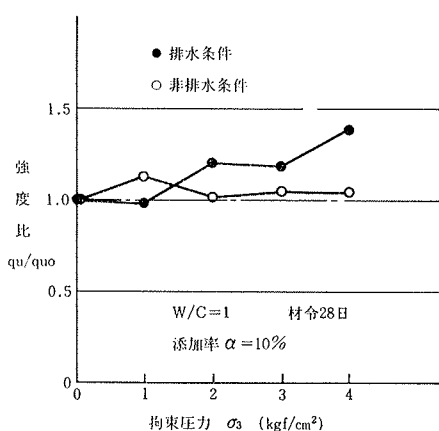
いずれにしても、実際の施工段階で混合直後にサンプリングされた試料が現地で温度変化を受けた後、室内で標準養生された場合を考えると、強度に及ぼす影響は15%以内である。深層混合が対象とする地中温度は地中下5m以深では年間を通じて16℃前後といわれており³⁾、したがって混合直後のサンプリングによって評価した強度が現地地盤内で養生された強度と大幅に異なることはないと考えられる。

3.3. 養生中の拘束圧力・排水条件の影響

図-7は排水条件をパラメータにした拘束圧力(σ_3)と強度(q_u)の関係を $\sigma_3=0$ の q_u 値 (q_{u0}) で除して無次元化したものである。

混合初期の養生中に排水が許されない非排水条件下では、ほとんど拘束圧力の影響を受けていないことがわかる。ただし、結果を詳細に眺めてみると非排水条件のものはずか数%であるが拘束圧力の影響を受けて q_u/q_{u0}

>1.0となっている。非排水条件下でせん断強度が拘束圧力の影響を受けて若干大きくなることは前報⁴⁾で報告した通りであり、室内混合時に若干気泡を含む不飽和な試料土に良くみられる結果である。



図一七 拘束圧力と強度の関係

一方、混合初期の養生中に排水が許される条件下では、拘束圧力の増加とともに強度は大きく増加していることがわかる。

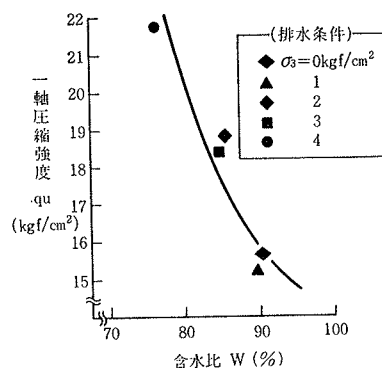
図一八はせん断試験後、供試体の一部を切り出して求めた含水比と得られた一軸圧縮強度の関係であるが、拘束圧力に伴う養生中の圧密排水により供試体の含水比は低下し、これに伴って強度が大きく発現していることがわかる。

このように圧密排水を併用したセメント混合土の強度が大きな改良強度を有することについては污泥固化処理の研究で久保ら⁵⁾も述べているところである。

ところで、図一八の結果は先の図一七が示す含水比の影響と全く傾向が似通っており、興味深い。すなわち、図一八は養生中の圧密排水により含水比を変化させた結果であり、一方図一七は混合前に含水比を変化させた結果であるが、両者とも同一混合セメント量では含水比の低下が強度増加に結びついている。

4. あとがき

浅層のセメント混合処理や深層混合処理で問題となる混合初期の土性や養生・環境条件が強度に及ぼす影響について2, 3の実験を行なった。その結果、以下のことが判明した。



図一八 含水比と強度の関係

(1) セメント混合土は対象土の含水比に大きく影響を受け、混合前の初期含水比が小さいほど強度は大きい。

(2) 硬化初期の養生温度が低いほど長期強度は大きく、また硬化初期の養生日数が長いほど長期強度は大きくなる。しかし、標準養生された場合に比較してその差は15%以内と小さい。

(3) 混合初期の養生中に排水が許される条件下では拘束圧力の増加とともに強度は大きく増加するが、非排水条件下では拘束圧力の影響を受けない。

セメント混合土の強度に及ぼす因子としては、上記の条件はほんの一部である。現場で施工された混合土の強度が示す特性は表一に挙げた要因やここに挙げていない他の要因が複雑に組み合わさって評価されるものであり、検討に当たってはこれらの要因を注意深く探る必要がある。これらについては鋭意研究継続中であり、順次報告する予定である。

参考文献

- 樋口, 他: コンクリート工学(I) 施工, 彰国社, p. 96
- 同上: p. 97
- 寺師, 他: 石灰・セメント系安定処理土の基本的特性に関する研究(第2報), 港湾技術研究所報告, vol. 19, No. 1, (1980. 3), p. 39
- 西林, 他: セメント混合固結土の強度・変形特性に関する研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 26, (1983), pp. 102~108
- 喜田, 他: 污泥の処理処分に関する研究(第14報), 大林組技術研究所報, No. 24, (1982), pp. 88~92