

改良土の品質管理に関する取り組み

堤 祥一* 小橋秀俊** 宮武裕昭*** 澤松俊寿**** 小林悟史*****

1. はじめに

近年、大量に発生する建設発生土や不良土に対し、セメント改良を行なうことで、盛土や擁壁の裏込め土としての積極的な利用が求められている。しかしながら、現状の品質管理方法では、①不攪乱試料の現場採取には、かなりの手間と熟練した技術が必要であること。②締固め試料による室内試験では、締固め密度の違いにより現場/室内強度比が発生すること。③十分な数をこなすことが厳しいため、混合の度合いによる施工のバラツキを考慮できないことから、現場の改良土の品質を正確に把握できないことが問題となっている。(図-1) そこで、伊豆縦貫道の塚原IC建設工事における改良土盛土の現場を対象として、現場/室内強度比や施工のバラツキを考慮できる、新しい品質管理方法の提案並びに有効性の検討を行った。

現状の品質管理方法
 ①セメント攪拌した現場試料を採取
 ②モールド内での突固めにより供試体を作成
 ③一軸圧縮試験を実施
 ↓ しかしながら
 問題点(1)現場/室内強度比が発生
 問題点(2)混合の度合いによる施工のバラツキが発生
 ↓ そのため
 現場の強度を正確に把握・評価できない
 実態(1)大きな安全率を取り、施工を実施
 実態(2)設計において土・改良土の粘着力は評価しない

*不攪乱試料の採取は現実的な方法でないため、通常行われていない。

図-1 現状の品質管理方法の問題点

2. 提案する品質管理方法

ここで提案する品質管理方法について説明を行う。まず、誰でも簡易的に不攪乱試料が採取可能なコアボーリング機(既存の機械は存在しないため、土木研究所にて開発)(図-2)を用いて、不攪乱試料を採取・養生し、7日後に一軸圧縮試験を行い、現場での改良土の強度の平均値を把握する。次に、重錘落下試験(改良地盤の剛性を計測)(図-3)を実施し、現場における施工のバラツキを把握するものである。これにより、従来の

The approach and development of new quality control method for cement soil

品質管理方法の問題点を解決し、要求される設計基準強度を、現場の品質管理にて、確認・保証することができるようになるものと期待している。(図-4, 5)



図-2 不攪乱試料採取ボーリング機
(土木研究所にて開発)



図-3 重錘落下試験機
(内部に加速度計を搭載)

<提案する新しい品質管理方法>

- 手順(1)
 不攪乱試料が採取可能なコアボーリング機を用いて不攪乱試料を採取する。
 * 試料採取は巻きだし転圧後、速やかに実施する。(試料の不良率低下のため)
- 手順(2)
 養生7日後に一軸圧縮試験を実施する。
 * 手順(1)、(2)により現場での強度(平均値)を把握する。
- 手順(3)
 地盤が固化した材令1日以降の現場地盤にて重錘落下試験を実施する。
 * 手順(3)により施工のバラツキを把握する。
 * 剛性値との相関が必要な場合、校正のための平板載荷試験を実施する。

図-4 提案する品質管理方法の概要

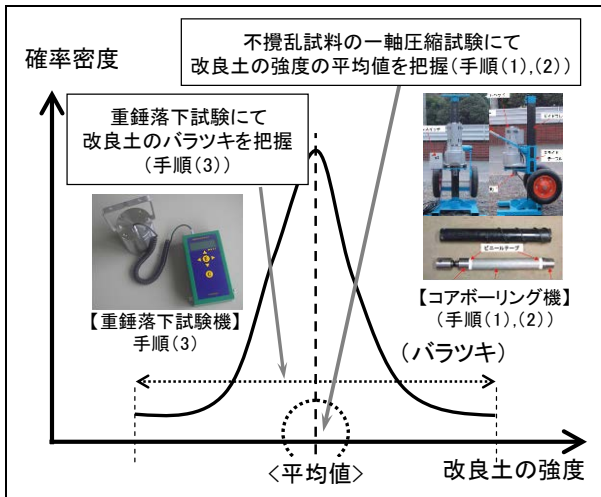


図-5 提案する品質管理方法の適用のイメージ

3. 現場における品質管理方法の検証試験

3.1 伊豆縦貫道-塚原IC工事現場の概要

今回、品質管理方法の検討を行った伊豆縦貫道-塚原IC工事の概要を表-1に、工事の様子を図-6に示す。最大盛土高さ40m、工事土量33万m³の大規模な工事現場であり、主にロームを主体とした建設発生土に対し、プラント式の土質改良機によりセメント混合した後、1層30cm厚にて巻き出し、転圧（湿地ブルトーンにて5回転圧-試験施工より規定）する形で施工が行われている。

表-1 伊豆縦貫道-塚原IC工事の概要

工事規模	最大盛土高さ	40m
	工事土量	33万/m ³
施工方法	巻き出し厚さ	30cm
	転圧回数	20tの湿地用ブルトーンにて、5回転圧
セメント混合	使用セメント	特殊土用セメント系固化材
	セメント添加量	180~220kg/m ³
	混合方法	連続機械混合式土質改良工法
現場土質	愛鷹ローム	粒度0.075mm未満…83.0% 自然含水比…149~184%
	火山灰質粘性土	粒度0.075mm未満…55.3% 自然含水比…73~171%
	箱根軽石堆積物	粒度0.075mm未満…91.9% 自然含水比…43~123%



図-6 伊豆縦貫道-塚原IC工事の様子

3.2 試験の概要

今回実施した試験ケースと試験数を表2に示す。ともに材令1、7日強度を対象に、不攪乱試料による一軸圧縮試験、重錘落下試験を実施した。また、重錘落下試験の値の校正と、重錘落下試験機の地盤剛性の精度を確認するために、別途平板載荷試験を実施した。

表-2 試験項目と試験数

試験項目	材令	試験数
一軸圧縮試験 (不攪乱試料)	1日強度	18
	7日強度	43
重錘落下試験	1日強度	100
	7日強度	542
平板載荷試験*	1日強度	1
	7日強度	1

*平板載荷試験は重錘落下試験の校正値取得を目的として実施

3.3 試験の結果と分析

まず、材令1、7日強度における一軸圧縮試験値と重錘落下試験値の分布を図-7に示す。これより両試験ともに、ピークとなる領域を有しており、正規分布に従うものと判断できる。

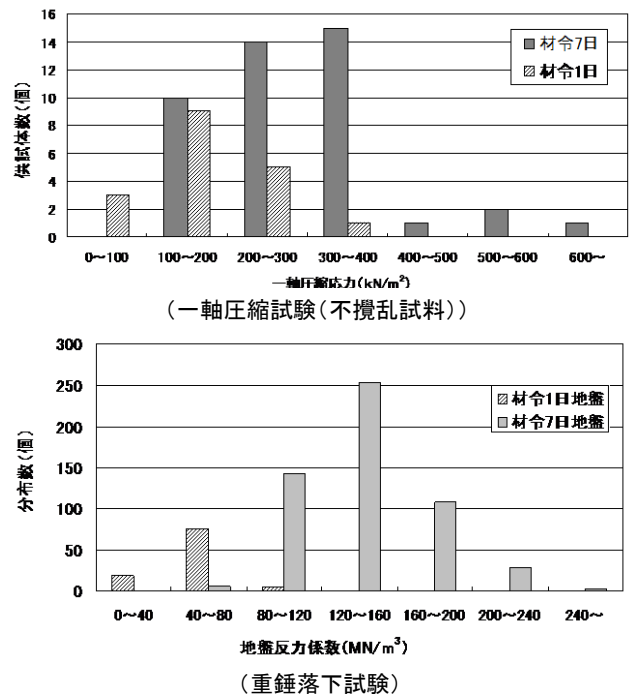


図-7 一軸圧縮試験と重錘落下試験の分布状況

そこで、横軸に試験値を、縦軸に確率密度関数を取ることで正規分布に基づく整理を行い、バラツキ状況の把握を行った。

図8-9に一軸圧縮強度と重錘落下試験値のバラツキ状況を、整理した結果を表-3に示す。

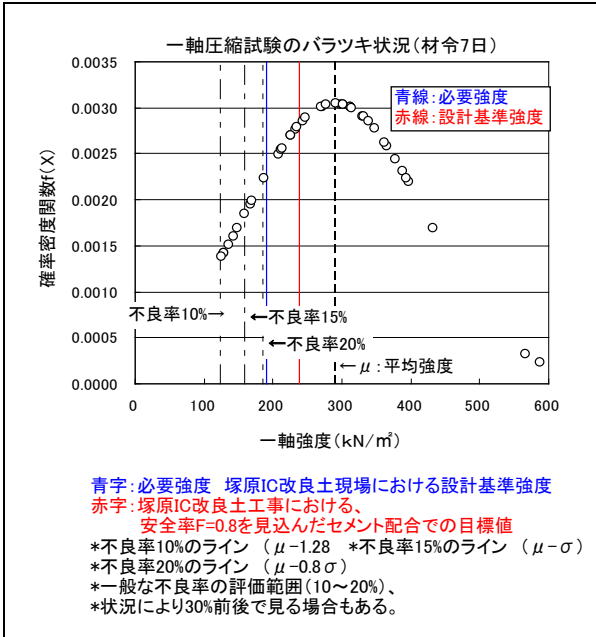


図-8 一軸圧縮試験(材令7日)のバラツキ状況

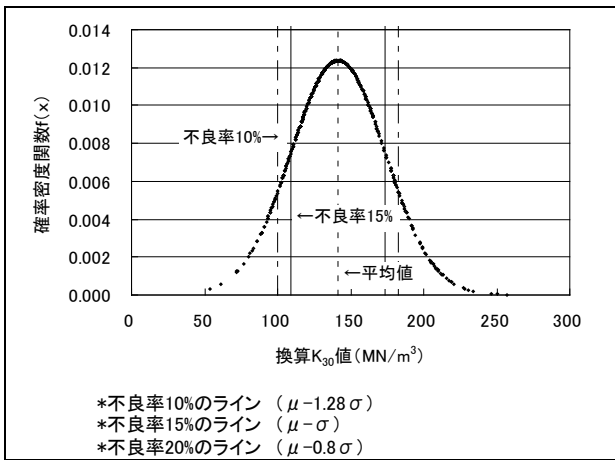


図-9 重錘落下試験(材令7日)のバラツキ状況

表-3 各試験のバラツキ状況のまとめ

項目	一軸圧縮試験(kN/m ²)		重錘落下試験(MN/m ²)	
	材令1日	材令7日	材令1日	材令7日
平均値: μ	176	291	53	141
標準偏差: σ	86	131	16	32
不良率20%: $\mu-0.8\sigma$	107	186	40	116
不良率15%: $\mu-\sigma$	90	160	37	109
不良率10%: $\mu-1.28\sigma$	66	123	33	100
不良率20%の変動幅 ($\mu+0.8\sigma$)/($\mu-0.8\sigma$)	2.3	2.1	1.6	1.4
不良率15%の変動幅 ($\mu+\sigma$)/($\mu-\sigma$)	2.9	2.6	1.9	1.6
不良率10%の変動幅 ($\mu+1.28\sigma$)/($\mu-1.28\sigma$)	4.3	3.7	2.3	1.8
変動係数: V: $=(\sigma/\mu)$	0.49	0.45	0.31	0.23

これより、分かることを以下にまとめる。

- 変動係数の値より、材令による強度のバラツキについて、大きな差を見ることはできなかった。

- 一軸圧縮試験の材令1、7日ともに、不良率を約10%で評価する場合の強度のバラツキ幅は約4倍、15%では約2.5~3倍、20%では約2倍であった。不良率は通常10~20% (良品率80~90%) の範囲で評価・設定する*1) ため、経験則によるバラツキ幅 ($F_c=0.3^*2)$ は現状を反映した妥当な値であると考えられる。
- 重錘落下試験によるバラツキは、一軸圧縮試験よりかなり小さく、不良率約10%で約2倍、20%では約1.5倍であった。これは地盤剛性を直接計測しているため、一軸圧縮試験と異なり試料採取や整形に伴う実験誤差を排除できることが、理由として考えられる。

3.4 提案する品質管理方法の適用方針

今回の検討結果より、一軸圧縮試験と重錘落下試験には大きなバラツキの差が見られた。そのため重錘落下試験のバラツキを、そのまま地盤のバラツキとして評価する場合、設計基準強度が高い値となり、安全率を過剰に見ることが懸念される。そのため実際の使用においては、試験施工もしくは施工初期の段階で、一軸圧縮試験と重錘落下試験のバラツキ範囲を求め、補正を行う必要があるものと考えられる。(図-10、表-4)

$$F_c = (1 - m \times V_1) \times \overline{q_{uf}}$$

$$= (1 - m \times V_2 \times C) \times \overline{q_{uf}}$$

F_c : 設計基準強度
 $\overline{q_{uf}}$: 現場平均一軸圧縮強さ
 m : 地盤改良強度のバラツキ (一般値 $m=1.3$ 不良率10%)
 V_1 : 一軸圧縮試験による変動係数
 V_2 : 重錘落下試験による変動係数
 C : 補正係数(V_1/V_2)

図-10 一軸圧縮と重錘落下試験値の補正

表-4 一軸圧縮と重錘落下試験値の補正結果

実施試験	材令	V: 変動係数*1	Vを平均化	C: 補正係数*2	備考
一軸圧縮	材令1日	0.49	0.47	1.75	C=0.47/0.27
	材令7日	0.45			
重錘落下	材令1日	0.31	0.27		
	材令7日	0.23			
実施試験	材令	平均値 $\mu(q_{uf})$ kN/m ²	不良率20% $\mu-0.8\sigma$ kN/m ²	不良率15% $\mu-\sigma$ kN/m ²	不良率10% $\mu-1.28\sigma$ kN/m ²
		一軸圧縮	材令1日 175.8 材令7日 290.6	107.1 185.8	89.9 159.6
重錘落下	材令	平均値 $\mu(q_{uf})$ kN/m ²	不良率20% $\mu-0.8\sigma$ kN/m ²	不良率15% $\mu-\sigma$ kN/m ²	不良率10% $\mu-1.28\sigma$ kN/m ²
		材令1日 175.8 材令7日 290.6	109.74 181.4	93.23 154.1	70.10 115.9

*1 V=(標準偏差値)/(平均値) 太字:補正式による補正值

*2 C=(一軸のV)/(重錘落下のV)

4. まとめ

品質管理方法における検証を行った結果を以下にまとめる。

- ・一軸圧縮試験、重錘落下試験ともに材令の違いによる強度のバラツキは小さいことが分かった。
- ・重錘落下試験は一軸圧縮試験と比較して、試験誤差が小さい分バラツキが小さく、実際の使用では、一軸圧縮試験との間に補正を行う必要があることが分かった。
- ・今回の検証から、提案する品質管理方法の適用方針を以下に示す。

- (1) 平均強度把握のための一軸圧縮試験（不攪乱試料）の際、ある程度の供試体（目安10本以上）を取り、一軸圧縮試験での変動係数についても把握を行う。【施工初期】
- (2) 重錘落下試験を実施し、変動係数を把握する。【施工初期】
- (3) 一軸圧縮試験と重錘落下試験の値から補正係数を求め、以後の施工においては、少数の不攪乱試料による一軸圧縮試験と重錘落下により品質管理を行う。【施工全体】

今回の試験より、提案する改良土の品質管理方法により、現場の設計基準強度に基づく品質管理が可能であることを、実際の現場にて確認することができた。今後は土や施工方法の異なる現場を対象としてデータのさらなる蓄積を行う予定である。

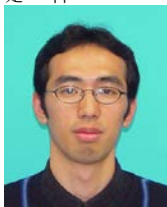
謝 辞

本実験を実施するにあたりご協力いただきました、沼津河川国道事務所、西松建設、(株)セロリ、セメント協会、並びに関係各者の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) (財)日本建築センター：改訂版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針—セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-、pp.198-226 2004
- 2) (社)セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル（第3版）、2003
- 3) 堤祥一、大下武志：改良土の盛土工事における不攪乱試料並びに重錘落下試験による品質管理方法の検討、第63回土木学会年次講演会、2008（投稿中）
- 4) 堤祥一、大下武志、宮武裕昭：改良土・浅層改良地盤の品質管理に関する試験的アプローチ、第62回土木学会年次講演会、3-374、2007
- 5) 山下健太郎、片野定男、極檀邦夫、境友昭：接触インピーダンス法によるセメント改良地盤の品質管理への適用、第62回土木学会年次講演会、6-207、2007
- 6) 境友昭、極檀邦夫：重錘落下による地盤反力係数の測定、第41回地盤工学会研究発表会、No488、pp.975-976、2005
- 7) 金子治、伊勢本昇昭：浅層混合処理工法の品質管理事例、第37回地盤工学研究発表会、No82、pp.161-162、2002

堤 祥一*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所技術推進本部施工技術チーム研究員
Shoichi TSUTSUMI

小橋秀俊**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所技術推進本部施工技術チーム主席研究員
Hidetoshi KOHASHI

宮武裕昭***



国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所長（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所技術推進本部施工技術チーム総括主任研究員）
Hiroaki MIYATAKE

澤松俊寿****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所技術推進本部施工技術チーム研究員
Toshikazu SAWAMATSU

小林悟史*****



岡三リビック(株)技術部技術企画室（前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所技術推進本部施工技術チーム交流研究員）
Satoshi KOBAYASHI