

# アップグレードソイルを用いた土構造物に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：技術推進本部（施工）

研究担当者：小橋秀俊、藪雅行、堤祥一、  
澤松俊寿

## 【要旨】

近年、工事現場で大量に発生する建設発生土に対し、セメント改良を行ない、従来の宅地・擁壁等の支持地盤としての利用に限らず、盛土材や擁壁の裏込め土、管渠等の埋戻し土として使用する事例が増加してきている。これには建設発生土の処分先や処分費用の確保が難しくなっている現状や、現場内利用する場合においても仮置き施設の確保が難しく、施工計画への影響を最小限に留めなければならない現状が大きく影響しているものと考えられる。

セメント改良は、低品質土の性状を向上させ、通常土や構造物の代替材として適用用途を飛躍的に広げる可能性を有している反面で、力学特性上好ましくない利用用途が増えてしまう懸念もある。そのため、本研究ではセメント改良土を通常土やコンクリート構造物の代替材として活用する際の、設計・施工上の留意点や課題について検討を行った。結果、構造物の代替材としての適用については、擁壁躯体の滑動に対し余裕を設けた安全率を設定する必要があること。構造物の合理化に関しては、変形に対する靱性が乏しいため、改良土と補強材の組合せによる使用はあまり好ましくないこと。施工方法については、品質の確保に重要な要素は混合の回数（頻度）であり、混合の方法には依存しないこと。品質管理手法については、提案する手法の有効性を確認することができた。

キーワード：改良土、合理化、補強材、品質管理

## 1. はじめに

### 1. 1 研究の背景

近年、工事現場で大量に発生する建設発生土に対し、セメント改良を行ない、従来の宅地・擁壁等の支持地盤としての利用に限らず、盛土材や擁壁の裏込め土、管渠等の埋戻し土として使用する事例が増加してきている。これには建設発生土の処分先や処分費用の確保が難しくなっている現状や、現場内利用する場合においても仮置き施設の確保が難しく、施工計画への影響を最小限に留めなければならない現状が大きく影響しているものと考えられる。

セメント改良は、低品質土の性状を向上させ、通常土や構造物の代替材として適用用途を飛躍的に広げる可能性を有している反面で、力学特性上好ましくない利用用途が増えてしまう懸念もある。そのため、セメント改良土を通常土やコンクリート構造物の代替材として活用する際の、設計・施工上の留意点や課題を明らかにすることが求められている。

### 1. 2 研究の範囲

本研究における範囲を下記にまとめる。

- (1) コンクリート構造物の代替材としての活用に関する基礎的研究
  - ・改良体の擁壁躯体に対する遠心模型実験
- (2) 土工構造物の合理化に関する基礎的研究
  - ・改良土のジオグリッドの引抜試験
  - ・改良土のアンカー体の引抜試験
- (3) 上記 (1) (2) に関する改良土の施工方法・品質管理方法に関する基礎的研究
  - ・施工時の混合方法が品質に与える影響に関する実験
  - ・施工時の混合の度合いが品質に与える影響に関する実験
  - ・現場の品質把握のため品質管理手法に関する実験

## 2. コンクリート構造物の代替材としての活用に関する基礎的研究

### 2. 1 改良体の擁壁躯体に対する遠心模型実験

#### (1) 実験の目的と概要

改良土を従来のコンクリート構造物の代替材として用

いる場合において、改良土はコンクリートに比べて単位体積重量が 60%程度（コンクリート：2.5 t/m<sup>3</sup>、改良体密度：1.5 t/m<sup>3</sup>程度）であること、発現強度が 3~5%に過ぎないなどの相違点があるため、滑動、転倒、内部応力による損傷の挙動について遠心模型実験による確認を試みた。遠心模型実験は図 2-1 に示す通り、実大換算高さ 5m の改良土による重力式擁壁（寸法はコンクリートの重力式擁壁の標準断面に基づく）を、一軸圧縮強度 400 kN/m<sup>2</sup>、改良体密度 1.4t/m<sup>3</sup> の条件にて作成し、実験ケースは、表 2-1 に示す通り、裏込めが密な砂（Case1）緩い砂（Case2）、緩いすなで背面にすべり線を入れた場合（Case3）の 3 ケースで実施した。またロードセルを用いて躯体に作用する水平方向力、鉛直方向力の測定を行った。

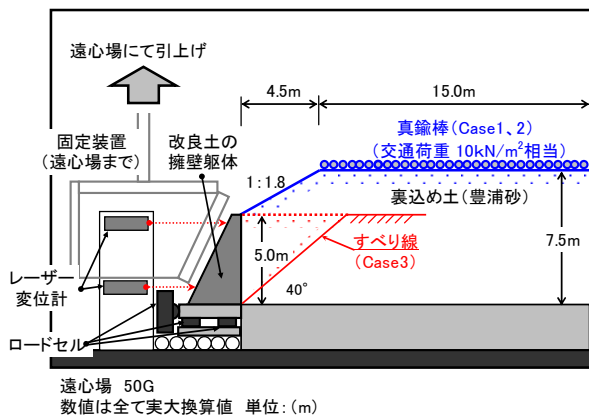


図 2-1 改良体の擁壁躯体に対する遠心実験の概要

表 2-1 改良体の擁壁躯体に対する遠心実験のケース

Case	裏込め土の密度 g/cm <sup>3</sup>	特徴
Case1	1.610	背面Dr=90%以上
Case2	1.3~1.4	背面Dr=0%
Case3		背面Dr=0% 土塊を強制滑動

- \* 改良体強度：400kN/m<sup>2</sup>
- \* 改良体密度：約1.4g/cm<sup>3</sup>
- \* 裏込め土の密度Dr=0%：砂を降せずに地盤作成

## (2) 実験の結果

Case1~3 のいずれにおいても、躯体に亀裂が生じるなどの内部応力に対する損傷、躯体の傾斜や転倒は確認されなかった。しかしながら Case3 においては、滑動現象を確認することができた。躯体に作用した水平方向力（実スケール換算）について、図 2-2 に示す様に緩詰め Case2 は密詰めの Case1 に比べて大きな値で推移し、すべり線を入れた Case3 では躯体の滑動が発生し、水平方向力の跳ね上がりが確認され、その後 Case2 と同程度の値に推移した。躯体の鉛直方向力については、いずれのケースにおいても、増加が見られなかった。

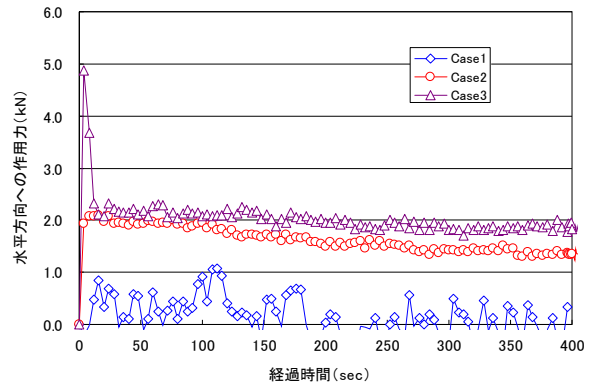


図 2-2 擁壁躯体の水平方向への作用力

## (3) 実験のまとめ

改良体の擁壁躯体に対する遠心模型実験の結果を踏まえ、以下の所見を得た。

- 高さ 5m 程度、一軸圧縮強度 400kN/m<sup>2</sup> 程度の重力式擁壁においては、背面側に何らかの原因ですべりが発生した場合に、躯体の滑動が先行し、内部応力不足による損傷、傾斜や転倒は顕在化しないことが確認できた。
- 躯体背面に作用する土圧の鉛直下向き成分は、躯体底面における躯体の摩擦抵抗力増加に有効にはたっていないかった。
- 改良体を用いた重力式擁壁の設計で躯体の滑動を検討する場合、背面土圧の鉛直成分の影響を過大に見込まぬよう注意することが必要と考えられる。

## 3. 土工構造物の合理化に関する基礎的研究

### 3.1 実験の目的

不良土の処分先や処理費用、仮置き場の確保が困難である現状や、施工計画への影響を最小限に留めなければならない必要性から、建設発生土にセメント混合による改良を行ない、擁壁の裏込め土として利用するケースが増加しており、高盛土や直壁のケースでは、改良土の固化特性を評価することが試みられつつある。

しかしながら、現状の設計方法において、通常土の設計に用いられるクーロン式等を、ブロック体として挙動するセメント改良土に適用することは理論的に難しく、また実務においても、安全を見て土の粘着力は評価していないのが現状である。そこで、改良土の固化特性を活用できる方法の検討を行い、結果、補強材（ジオグリッド、アンカー一体）と改良土を組合せ、改良土と補強材の定着力（固結力）を評価する方法による検討を行った。補強材はジオグリッドとアンカー一体を選択し、ジオグリッドについては、改良土と無改良土との比較、繰り返し

引張、引張後の加水による定着減衰の把握を研究の主目的とし、アンカー体については、土被り深さとアンカー径、改良強度、設置間隔をパラメータとした場合の引抜強度の試算を研究の主目的として引抜実験を実施した。

### 3.2 改良土のジオグリッドの引抜試験

#### (1) 試験の概要

引抜試験の概要図を図3-1に、実験ケースを表3-1に示す。実験ケースは、通常の粘性土（関東ローム）での単調、繰り返し引張（Case1～2）、改良土での単調、繰り返し引張（Case3～4）と繰り返し引張後の加水（Case5）で実施した。Case5は地震等により、改良土に亀裂が生じた後に、地下水や雨水により浸水が生じた場合を想定したものである。また、引張速度は1mm/分であり、試料の締固め度は $D_c=85\%$ で管理を行っている。

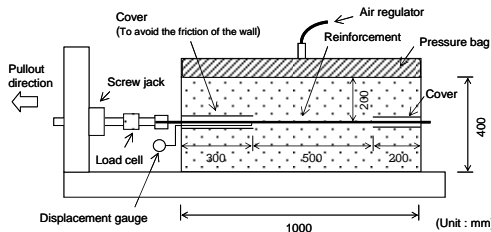


図3-1 ジオグリッドの引抜試験の概要図

表3-1 ジオグリッドの引抜試験ケース

Case	地盤材料	荷重パターン	地盤内への加水
Case1	関東ローム	単調	
Case2		多サイクル	
Case3	改良土	単調	
Case4		多サイクル	
Case5		多サイクル	2サイクル後-加水

\* 引張速度: 1mm/分 \* 上載圧: 40kN/m<sup>2</sup>

#### (2) 試験の結果

結果を図3-2と図3-3に示す

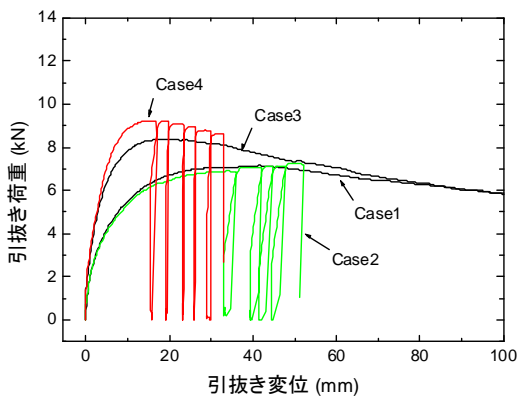


図3-2 改良効果と多サイクル荷重の影響

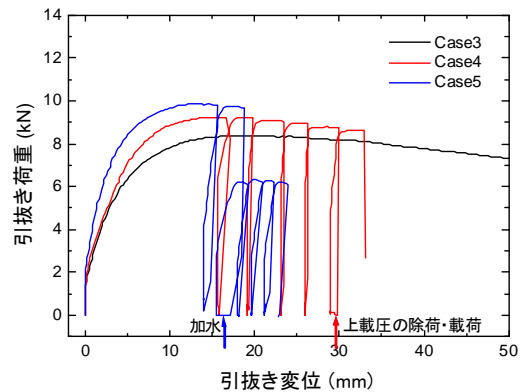


図3-3 引張後の加水による定着減衰の状況

図3-2より、改良土（Case3）と通常の粘性土（Case1）を比較すると、ピーク値については、高い引張強度が出るものの、ピークを越えた後は、通常の粘性土の引抜き特性に近づくことが分かる。また、多サイクル荷重については、改良土、通常の粘性土ともに、単調荷重のラインに戻る傾向を示し、改良土と通常の粘性土の間で、大きな特性の変化は見られなかった。

図3-3より、加水による引抜き強度の減衰について、実際は諸条件により異なるものと考えられるが、本試験では、約4割程度の引抜き強度の低下を確認することができた。

#### (3) 試験のまとめと考察

改良土に対するジオグリッドの引抜き試験を行った結果を以下のような所見を得た。

- セメント改良土とジオグリッドを併用することによって、引抜き力の最大値を向上させることは可能ではあるが、引き抜き変位の増加とともに引き抜き力が低減し、無改良土と同程度まで低下する可能性があることが分かった。
- 加水を繰り返すことによって、ジオグリッドの引き抜き力は原土を下回る場合があることが分かった。
- 残留抵抗力の減少を踏まえた用途選定や設計、補強領域に水が入らないことを前提とした用途選定及び設計としなければならない。

### 3.3 改良土のアンカー体の引抜試験

#### (1) 試験の概要

アンカー体の引抜き試験の概要を図3-4、3-5に示す。アンカー体の引抜き試験については、試験の効率性や土被り深さを確保する必要性から、遠心模型実験を実施した。また、土被り深さ、アンカー径、改良強度を主なパラメータとした試験（1本引抜き）と、設置間隔を主な

パラメータとした試験（複数引抜き）を2カ年に渡り実験を実施している。

土被り深さ、アンカー径等を主なパラメータとした試験ケースと表3-2に、設置間隔をパラメータとした試験ケースを表3-3に示す。

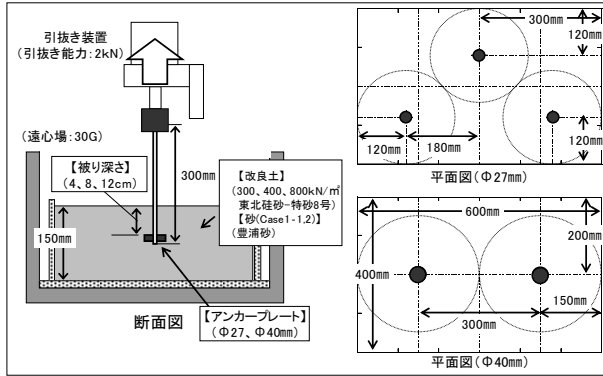


図3-4 アンカー一体の引抜き試験の概要図（1本引抜き）

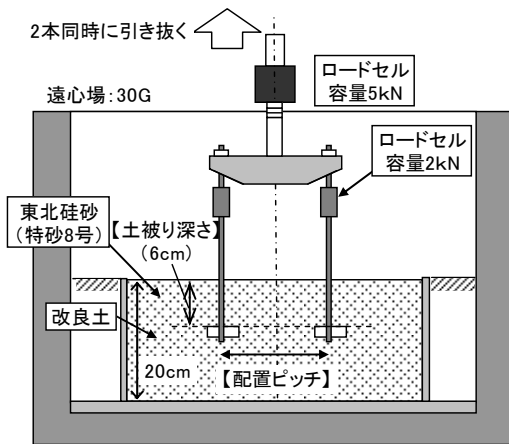


図3-5 アンカー一体の引抜き試験の概要図（複数引抜き）

表3-2 アンカー一体の引抜き試験（1本）の試験ケース

Case	改良強度 (kN/m <sup>2</sup> )	アンカー径 (m)	土被り深さ (m)
Case1-1	-	0.8	2.4
Case1-2	-	1.2	2.4
Case2-1	400	0.8	1.2
Case2-2			2.4
Case2-3			3.6
Case3-1	800	0.8	1.2
Case3-2			2.4
Case4-1	300	0.8	1.2
Case4-2			2.4
Case4-3			3.6
Case5-1	400	1.2	1.2
Case5-2			2.4
Case6-1	800	1.2	1.2
Case6-2			2.4
Case7-1	300	1.2	1.2
Case7-2			2.4

\*Case1-1, 1-2は砂（豊浦砂：乾燥状態、密度1.58）  
 \*Case3-3は装置能力を越えたため、降伏前に停止  
 \*数字は実寸法 \*改良土（乾燥密度1.36）  
 \*セメントは早強セメントを使用  
 \*引抜き速度は0.05mm/sec

表3-3 アンカー一体の引抜き試験（複数）の試験ケース

Case	アンカー径 (m)	被り深さ (m)	改良強度 (kN/m <sup>2</sup> )	配置ピッチ (m)
Case1	0.8	1.8	400	1.47
Case2				2.49
Case3				2.94
Case4				3.33
Case5				4.38

## (2) 試験の結果

単本引抜き試験にて、無改良と改良強度の違いごとに整理した結果を図3-6に、土被り深さ、アンカー径の違いごとに整理した結果を図3-7に示す。

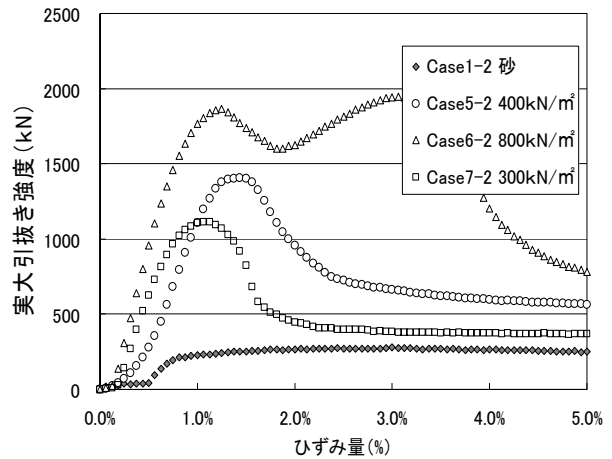


図3-6 アンカー一体引抜き試験結果（1本 改良強度ごと）

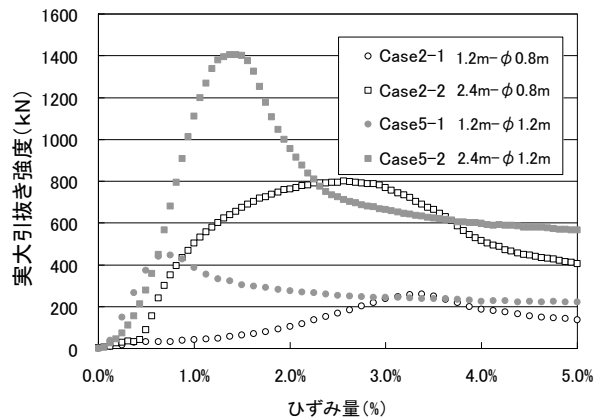


図3-7 アンカー一体引抜き試験結果（1本）  
（土被り深さ、アンカー径ごと）

図3-6、図3-7より、改良強度や土被り深さ、アンカー径が大きくなるにつれ、引抜強度のピーク値が上昇する傾向を示し、特に改良強度による影響が大きいことが分かった。ピーク値を越えた後は、ジオグリッドによる実験と同様に、引張強度が大きく減衰し、無改良のケースに近づく様子を把握することができた。

続いて、引抜き試験後の様子を図3-8に示す。



図3-8 アンカー体の引抜き試験後の様子

図3-8より、改良土のタンカー引抜きによる破壊モデルは、通常の土と異なり、アンカーから荷重の伝達分散の境目にて、改良土の固結が切れる形で破壊が起きるものとするに至った。図3-9に想定される破壊モデルを示す。

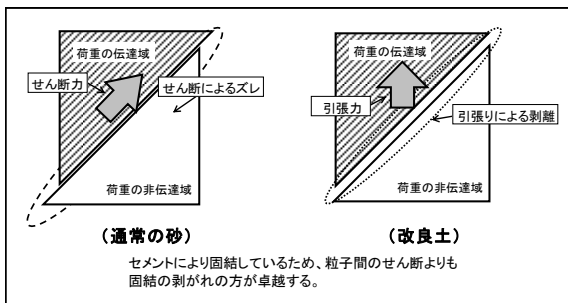


図3-9 改良土のアンカー引抜き時に想定される破壊モデル  
 そこで、図3-10に示す様に、荷重の伝達が円錐上に分布し、円錐面積部にて引張破壊が作用するモデルにて、引張荷重の算出モデル式を考え、1本での引抜き試験結果との重ね合わせを実施した。荷重の伝達角度(分散角)については、実測結果の35°を用いた。結果を図3-11に示す。

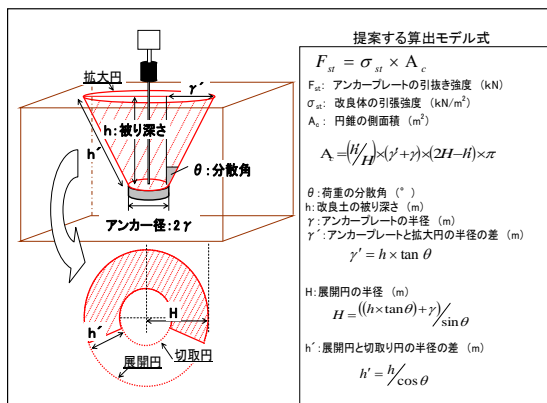


図3-10 改良土のアンカー体引張荷重の算出モデル

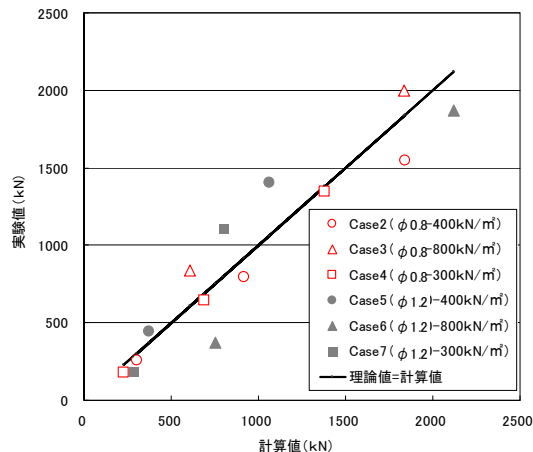


図3-11 引抜き試験値と算出式との比較結果

図3-11より、多少の違いは見られるものの、破壊モデルと算出式の整合性を確認することができた。安全率を設けることにより、この算出式にて引抜き強度の見積もりが可能になるものと考えている。

最後に、配置ピッチをパラメータとして複数本の同時引抜き強度の減衰結果を図3-12に示す。

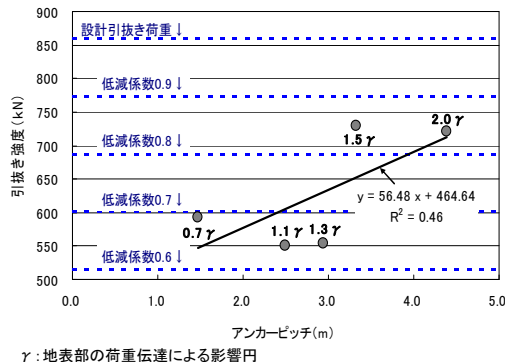


図3-12 配置ピッチによる引抜き強度の減衰結果

図3-12より、アンカー体の配置ピッチが接近する場合、干渉により6~7割程度まで引張強度が減少することが分かった。そのため配置間隔は、影響円の範囲より余裕を設けることが望ましいことが分かった。

### (3) 試験のまとめと考察

今回の改良土のアンカー体引抜き試験の結果を下記に整理する。

○アンカー体を改良土と併用した場合には、引き抜き強度の最大値は未改良時と比べて向上する。その度合いは、アンカー体の直径、土被り厚さ、配置間隔を考慮した効果を上回った。しかしながら、引き抜き変位量の増加にともない、引抜き抵抗力が最大値の半分程度まで低減する可能性があることが確認された。



### 3. 4 土工構造物の合理化に関する研究のまとめ

- 補強材と改良土の引抜き試験の結果を下記に整理する。
- 無改良土と比較してピーク値の上昇を確認することができた。改良土の強度を上げることにより、値を上昇させることができるものと考えられる。
  - しかしながら、ピーク後の靱性域においては、著しい減衰傾向を示し、最終的には無改良の状態まで収束するものと考えられる。
  - そのため、改良土と補強材との組合せる際、靱性域の応力低下を考慮し、ピーク値を設計に用いることは好ましくなく、残留抵抗力の減少を踏まえた用途選定や設計、補強領域に水が入らないことを前提とした用途選定及び設計としなければならない。(図 3-13 参照)

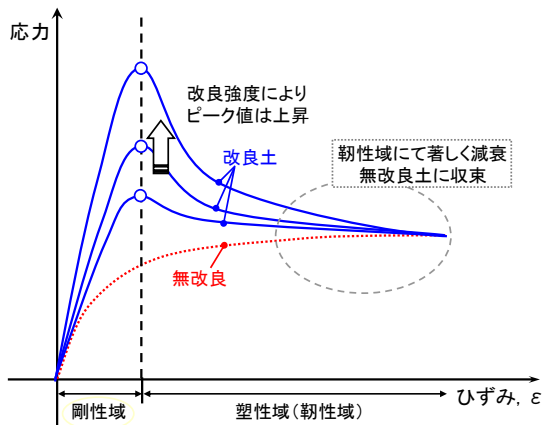


図 3-13 改良土の引抜き強度特性のまとめ

## 4. 改良土の施工方法に関する基礎的研究

### 4.1 実験の目的

設計にて、改良土の定着力(固結力)を評価する際、改良土の現場強度は、施工方法や土質により大きくバラツキ、設計にて要求された強度をどの程度担保できているか、どのような施工方法(混合程度は?混合方法は?)に基づくことが望ましいかはっきりしていないのが実態であり、設計にて改良土の定着力を評価する際の大きな障害となっている。まず、本研究を始めるにあたり、文献調査並びに、セメント協会に対するヒアリングを実施した。結果、改良土の品質に影響を与える他の要因、養生温度、化学成分、土の含水率、などについては様々な研究や知見があるものの、施工方法に関する研究や現場の品質を正確に把握する研究はあまり行われておらず、実務の現場ではそれら諸要因を「現場室内強度比」として丸めて評価し、混合量に大きな安全率を設定していることが分かった。

当チームでは上記の実態を踏まえた上で、施工方法の改善に対する基礎研究を実施し、混合方法の違いや混合の程度によりどの程度のムラが生じるか、一般的な粘性土として設定した関東ローム土を対象に基礎的実験を実施した。

### 4.2 施工時の混合方法が品質に与える影響に関する基礎的実験

#### (1) 試験の概要

混合機器の選定において、バックホウによる混合方法が圧倒的多数を占めており、施工範囲や量が膨大になるにつれスタビライザー(図 4-1 参照)による攪拌混合が用いられている。プラント混合によるケースもあるが、少数の大規模工事に限られた方法であること、相応のコストがかかることから、本実験では、2つの混合方法に関して試験を実施した。



図 4-1 スタビライザー

バラツキの確認方法に関しては、後述する品質管理手法に基づき、コアボーリング機による採取試料と重錘落下試験による地盤剛性値より、現場の強度を直接確認する形式で評価を行った。

試験の概要を図 4-2 に試験ケースを表 4-1 に示す。

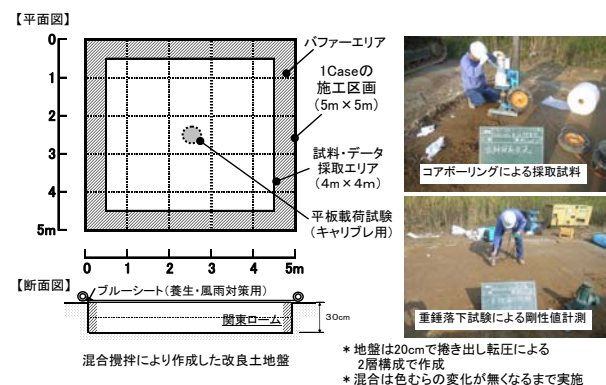


図 4-2 混合方法の違いによる品質確認試験の概要

表 4-1 混合方法の違いによる品質確認試験ケース

Case	混合方法	採取区 間	試料採取 (個)	重錘試験 (地点)
Case1	スタビライザー	2つ	36	200
Case2	バックホウ	3つ	65	300
Case3	無改良	1つ	32	100

- \*1 セメントは高炉B種 混合量は133kgf/m<sup>3</sup>
- \*2 一軸圧縮試験の材令7日
- \*3 重錘落下試験数=100地点/1区間
- \*4 1区間の面積は16m<sup>2</sup>
- \*5 地盤試料は関東ローム ( $\omega_n=80\%$ 前後)
- \*6 1区間ごとに、重錘落下試験のキャリブレとして平板載荷試験を実施
- \*7 試料採取は地盤の固化前の施工当日に実施  
そのためCaseにより複数区間を使用

(2) 試験の結果

始めに、現場採取資料による一軸圧縮試験 (材令 7 日) 結果の分布状況と、重錘落下試験 (材令 7 日地盤) の分布状況を図 4-3、図 4-4 に示す。

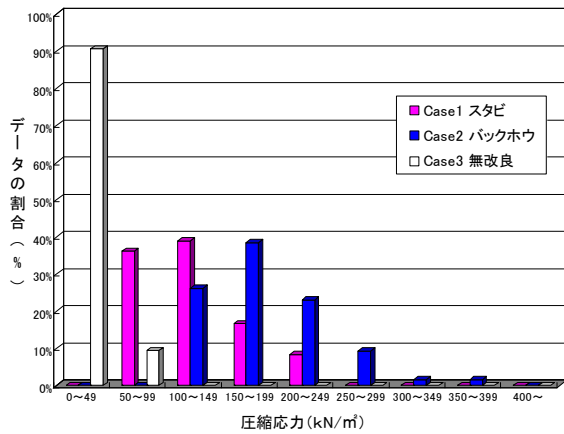


図 4-3 コアボーリングによる採取試料の分布状況

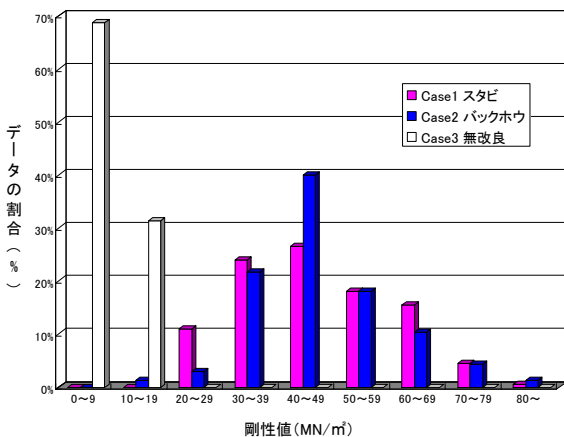


図 4-4 重錘落下試験による計測値の分布状況

図 4-3、図 4-4 より、スタビライザー、バックホウのケースともにピークとなる領域を有し、無改良土のケースよりピーク位置が上昇していることから、ともに改良

土の強度が発現している様子を見ることができる。一軸圧縮試験と重錘落下試験の分布状況を比較すると、全体としては相関性のある分布となっていることが分かる。しかしながら、一軸圧縮試験ではピーク位置のずれが見られた。これは、採取時の誤差や、試験の実施日が異なり、試験期間中に雨天を挟んだため、気温や湿度、試料の状態などの諸要因が影響しているのではないかと考えられる。そのため、ここでは変動係数により、バラツキ状況の評価を実施した。ケースごとに整理したバラツキ状況を表 4-2 にまとめる。

表 4-2 混合方法の違いによる品質確認試験の結果

試験	指標	Case1	Case2	Case3
		スタビ	バックホウ	無改良
一軸圧縮試験	平均値	123	184	36
	標準偏差値	43.2	52.5	8.8
	変動係数	0.35	0.29	0.24
重錘落下試験	平均値	46.6	47.1	8.7
	標準偏差値	13.7	12.6	1.8
	変動係数	0.29	0.27	0.21

表 4-2 より、変動係数で評価すると一軸圧縮試験のスタビの Case のバラツキが若干高いものの、その差は小さいことが分かる。結果、土の種類や混合量などの与条件の変化により、バラツキ度合いは変わることが考えられるものの、混合方法の違い自体が改良土の品質に与える影響は小さいものと考えられる。

(3) 試験のまとめと考察

バックホウ混合とスタビライザー混合との間で、改良土の施工品質のバラツキの比較を行った。その結果、下記の所見が得られた。

- 混合回数などの調整を行えば、一軸圧縮強度と重錘落下試験強度における変動係数はほぼ同程度とすることができることが確認された。

4.3 施工時の混合の程度が品質に与える影響に関する基礎的実験

(1) 試験の概要

混合方法の違いのみでは、改良土の品質に与える影響は小さいことが分かった。そこで、混合の程度が改良土の品質にどの程度の影響を与えるか、基礎的実験を実施することとした。これは、実際には土の種類や混合量、気温などの与条件により、絶対的な値は大きく変化するものの、バラツキが収束するまでの傾向等について現況を把握する必要があると考えたためである。試料には前述の試験と同様に関東ローム土を用いたが、テーパモードに試料を詰める関係上、篩により粒径調整を行った。概要図を図 4-5 に示す。混合方法は再現性を保持するために、①試料にセメントを撒き出し、②バックホウ

で掬い取り、規定の高さから落下させ、③改良土の山を移し変える回数を、混合の程度として規定し、バラツキの把握を行った。実験ケースを表4-3に示す。

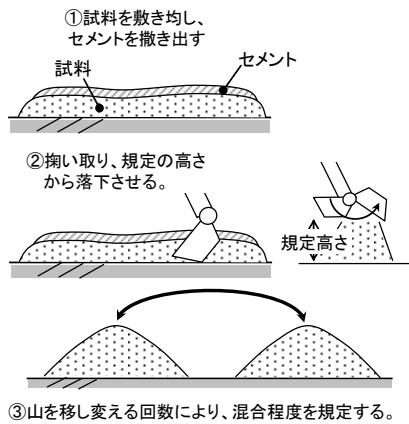


図4-5 混合の程度に関する品質確認試験の概要

表4-3 混合の程度に関する品質確認試験のケース

Case	混合程度*1 (回)	試料数 (個)	備考
Case1	4	50	1バッチ目
Case2	8	50	
Case3	1	50	2バッチ目
Case4	2	50	
Case5	4	50	
Case6	6	50	

- \*1 混合程度は山を移し変えた回数
- \*2 一軸供試体の作成にはテーパー付モールドを使用
- \*3 試料の採取の際は、改良土を敷き均し、任意の箇所から採取

(2) 試験の結果

混合回数（混合程度）ごとの変動係数の変化を図4-5に示す。図4-6より、1回しか混合していないケースでは大きな変動係数を示し、十分に混合されたケースと比較して倍以上の差があり、混合が不十分な場合はバラツキがほぼ倍になることが分かった。また、一軸圧縮試験の平均強度に関しては、混合回数（8回以内）との間に一定の傾向（例えば、混合回数とともに平均強度が増す傾向にあるなど）は見られなかった。

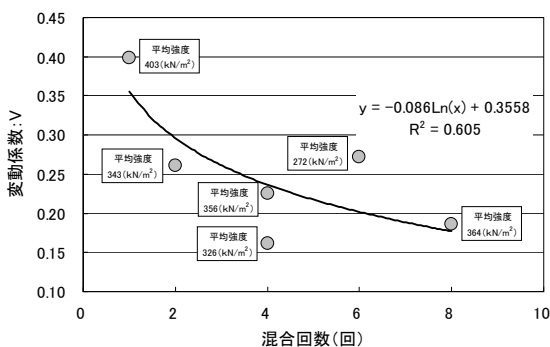


図4-5 混合程度における状況

(3) 試験のまとめと考察

混合の程度に関する品質確認試験の結果を下記に整理する。

- 混合回数の増加とともに、一軸圧縮強度の変動係数が低減しており、施工品質のばらつきが縮小することが確認できた。また、フェノールフタレイン溶液の変色状況も、混合回数4回を超えると色むらがなくなり均等に混合していることが確認された。
- 一軸圧縮強度の平均値については、混合回数増加にともなう明確な傾向は確認できなかった。

5. 現場の強度を正確に把握できる品質管理に関する研究

5.1 提案する品質管理手法

盛土材や裏込め材として改良土を使用し、その固結強度（粘着力）を設計に見込むためには、現場にて改良土の品質を正確に把握し、その性能を担保できることを確認することが求められる。しかしながら、従来の品質管理方法は、①現場でセメント混合した土を室内に持ち帰り、供試体を作成していること（時間が経過し、初期の養生状況が異なり、発現強度にズレが生じる）②供試体の作成方法が現場と異なる（室内の静的・動的突き固めと、現場の撒き出し転圧では、密度が異なる）ことから、現場の強度をバラツキ込みで正確に把握しているとは言えないのが実態である。

そのため、現場の強度をバラツキ込みで正確に把握できる、新しい品質管理手法の提案を行うに至った。提案する品質管理方法は、

- ①施工後すぐに、試料を現場から直接採取可能なコアボーリング機（土木研究所にて開発）を用いて、固化前の試料を採取・養生を行う。
- ②7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。
- ③重錘落下試験（改良地盤の剛性を計測 短時間で多点計測が可能）を実施し、現場における施工のバラツキを把握する。

これにより、現状の品質管理方法の問題点を解決し、施工のバラツキを正確に把握することができるものと考えている。（図5-1参照）



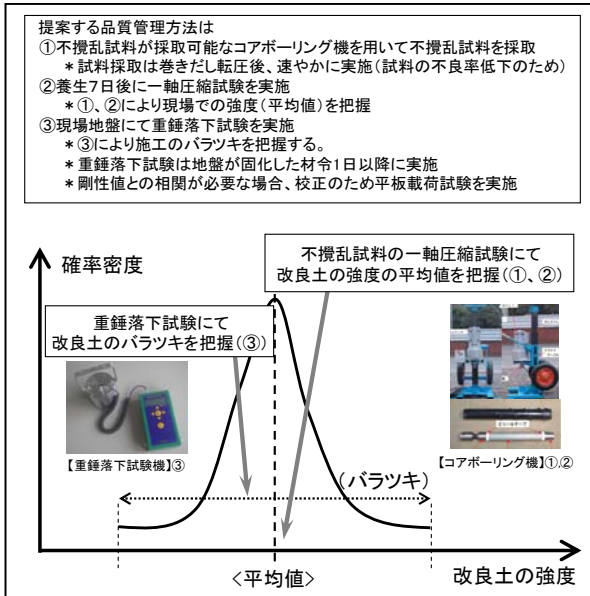


図5-1 提案する改良土の現場での品質管理方法

## 5.2 コアボーリング機の品質確認試験

### (1) 試験の概要

研究を始めるにあたり、地盤から直接試料を採取することができるコアボーリング機を探したものの、大深度用の大型機や、水を使用するタイプ(強度が乱れるため不適)などが大半であり、今回の研究のニーズに合う、採取深度が浅く、無水で、扱いが簡易なタイプのコアボーリング機を見つけることが出来なかった。そのため、図5-2に示す浅層型のボーリング機の自主開発を行うに至った。方式は二重管方式とし、水の変わり圧縮エアにより試料の固着を防ぐ機構を取っている。

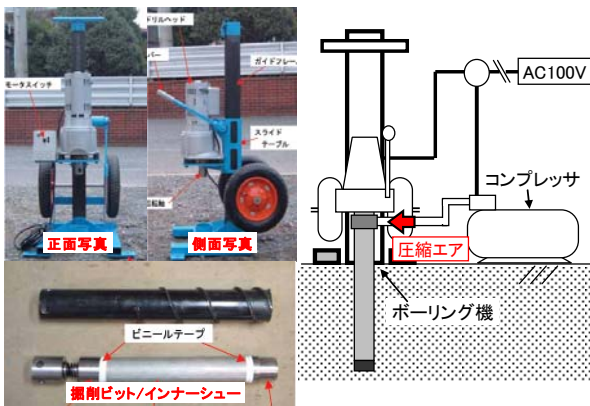


図5-2 浅層型のコアボーリング機

しかしながら、自主開発の機器が、現場の強度をきちんと把握できているか、通常のプロックサンプリング法と比較して、どの程度の精度を有するか確認を行う必要性があり、そのためコアボーリング機の確認試験を実施することとした。試験の概要を図5-3に、試験ケースを表5-1に示す。

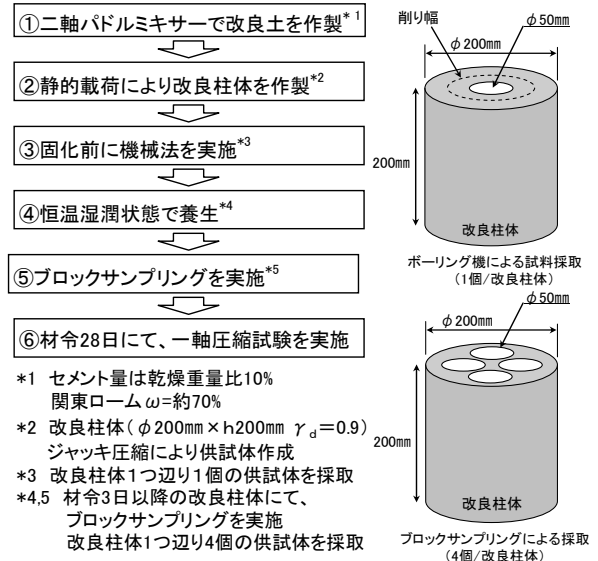


図5-3 コアボーリング機の品質確認試験の概要

表5-1 コアボーリング機の品質確認試験のケース

Case	採取方法	供試体本数	
Case1	コアボーリング機	50	本
Case2	ブロックサンプリング	66	本

\* 供試体寸法  $\phi$  50mm  $\times$  h 100mm

### (2) 試験の結果

各採取方法による一軸圧縮試験の分布状況を図5-4に、整理結果を表5-2に示す。これより、両者ともにピークとなる領域を有しており、正規分布に従うこと。平均値については、多少ズレが生じるものの、変動係数で見ると差はほとんど見られないことが分かった。

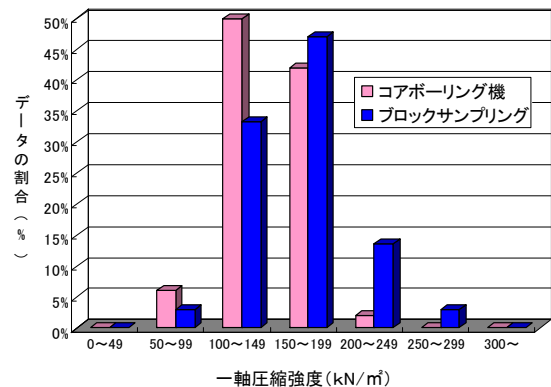


図5-4 各採取方法による一軸圧縮強度の分布状況

表 5-2 各採取方法による整理結果

指標		採取方法	
		コアボーリング機	ブロックサンプリング
平均値: $\mu$	(kN/m <sup>2</sup> )	147	166
分散値	(kN/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	864	1097
標準偏差値: $\sigma$	(kN/m <sup>2</sup> )	29	33
変動係数: V		0.199	0.200

\*  $V = \sigma / \mu$

平均値がずれている点については、サンプリングの時期が異なる（ボーリング：材令0日 ブロック：材令3日以降）ことが多少影響したものと考えられるが、変動係数に差が見られないことから、コアボーリング機自体の最低限度の性能は満足しているものと考えられる。

### 5.3 伊豆縦貫道（塚原 IC）における品質管理方法の検討

#### (1) 試験の概要

提案する品質管理方法が実際の工事現場において有効であるか把握するために、伊豆縦貫道の塚原 IC 建設工事改良土盛土現場を対象として、有効性の検討を行った。現場の概要を表 5-3 に、工事の様子を図 5-5 に示す。

最大盛土高さ 40m、工事土量 33 万 m<sup>3</sup> の大規模な現場であり、現場発生地のローム土に対し、プラントによるセメント混合の後、30cm で撒き出し転圧（湿地ブル5回転圧）する形で施工が行われている。

表 5-3 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 <sup>3</sup>
施工方法	巻き出し厚さ	30cm
	転圧回数	20tの湿地用ブルドーザーにて、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 <sup>3</sup>
	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 5-5 伊豆縦貫道-塚原 IC 工事の様子

実施した試験ケースと試験数を表 5-4 に示す。材令 1 日、7 日を対象に、コア採取試料への一軸圧縮試験、施工地盤への重錘落下試験を実施した。また、重錘落下試験のキャリブレーションのため、別途平板載荷試験を実施している。

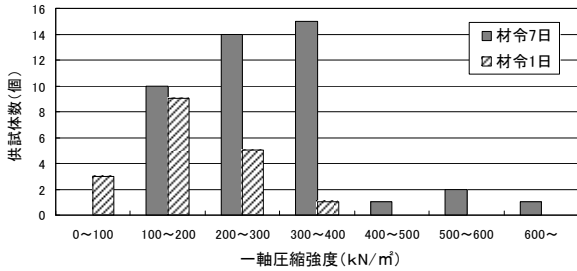
表 5-4 現場における品質管理方法の試験ケース

試験項目	材令	試験数
一軸圧縮試験	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

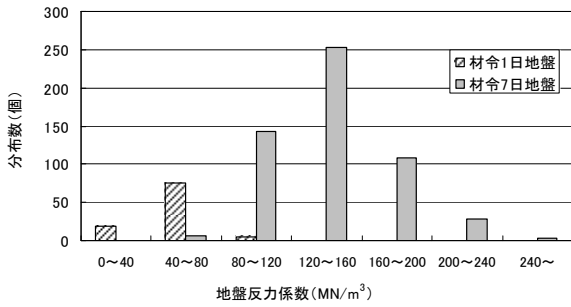
\*平板載荷試験は重錘落下試験の校正値取得を目的として実施

#### (2) 試験の結果

図 5-6 にケースごとの一軸圧縮試験、重錘落下試験の分布状況を示す。これより、一軸圧縮試験、重錘落下試験ともに、材令に従いピーク値が上昇していること。重錘落下試験値と一軸圧縮試験値に相関性があり、ともにピークを有し正規分布に従うこと、実際の現場は複数のローム土を扱っているため、実験フィールドと比べて、強度の発現幅が大きいことが分かった。



コアボーリング機による採取試料



重錘落下試験の計測値

図5-6 一軸圧縮試験、重錘落下試験の分布状況  
 続いて、現場データの整理結果を表5-4にまとめる。

表5-4 伊豆縦貫道-塚原 IC のデータ整理結果

項目	一軸圧縮試験 (kN/m <sup>2</sup> )		重錘落下試験 (MN/m <sup>2</sup> )	
	材令1日	材令7日	材令1日	材令7日
平均値: $\mu$	176	291	53	141
標準偏差: $\sigma$	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

\* 塚原IC工事現場における設計基準強度 190kN/m<sup>2</sup>  
 \* 現場安全率(割増し1.25倍)を見た際の目標強度 238kN/m<sup>2</sup>

表5-4より、変動係数の値において、材令による強度のバラツキにあまり大きな差は見られなかった。また、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・設定するため<sup>1)</sup>、経験則によるバラツキ幅 ( $F_c = 0.3$ ) 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について、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。

必要強度となる設計基準強度については、塚原 IC 工事現場では 190 kN/m<sup>2</sup>であり、不良率約 20%のラインで性能を満足していることを確認することができた。また、割増による目標強度 238 kN/m<sup>2</sup>は、材令 7 日の平均値 291 kN/m<sup>2</sup>に近いことを確認することができた。

### (3) 試験のまとめと考察

伊豆縦貫道塚原 IC にて実施した品質管理方法の検討結果を以下にまとめる。

- 改良土の盛土の品質管理方法において、一軸圧縮強度の代替指標としての重錘落下強度を用いた多点管理方法の適用性が確認された。
- 一軸圧縮強度による管理水準に相当する重錘落下試験強度の管理水準 (例えば、一軸圧縮強度の不良率 10%に対応する重錘落下試験強度の管理水準) を、所定の頻度 (数千 m<sup>3</sup>に一回) でチェックし補正係数を定めて管理水準とするものである。変動係数による補正例を図5-7に示す。

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

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

$F_c$ : 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5-7 一軸圧縮と重錘落下試験値の変動係数の補正例

- 今回の検討事例では、重錘落下試験強度による不良率の水準は、一軸圧縮強度の不良率の水準よりも厳しく設定するための補正が必要であることが確認された。

## 6. まとめ

本研究テーマにおける一連の研究結果について、下記に整理する。

- 1) コンクリート構造物の代替材としての活用に関する基礎的研究
  - 改良土を高さ5m程度の擁壁躯体としての利用する際、最も重要な要素は躯体の重量であり、特に滑動に対する安全率に余裕を設ける必要があることが分かった。
- 2) 土工構造物の合理化に関する基礎的研究
  - 土工構造物の合理化に関する基礎研究について、改

良土と補強材を組合せることにより、引抜き抵抗(強度)のピーク値が上昇する傾向を確認することができた。しかしながら、ピーク後の靱性域(塑性域)にて、著しい減衰傾向を確認することができた。そのため、ピーク値をそのまま使用することは危険であり、無改良の強度にて設計を行うことが望ましいものと考えられる。

- 3) 改良土の施工方法・品質管理方法に関する基礎的研究
- 改良土の施工方法に関する基礎研究について、混合方法自体による品質への影響は小さく、混合の程度が品質に与える影響が大きいこと。施工方法による品質のバラツキを抑えるには、色むらがなくなるまで攪拌混合を行い、それが可能となる混合方法を適時選択することが望ましいことが分かった。
  - コアボーリング現場採取試料と重錘落下試験との組合せによる品質管理方法を提案し、変動係数の補正を行うことで、現場への適用の有効性を確認することができた。

#### 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年
- 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年
- 3) 土木研究所資料第3812号:補強土壁工法のアンカープレート引抜き抵抗メカニズムに関する実験的検討、2001年
- 4) (財)土木研究センター:多数アンカー式補強土壁工法 設計・施工マニュアル第3版、2002年
- 5) 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回地盤工学会研究発表会、No82、pp. 161-162、2002
- 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) 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
- 8) 堤ら:改良土の品質管理に関する取り組み 土木技術資料 50-7 2008 p24-27
- 9) 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
- 10) 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 III-154 2008. 9
- 11) 堤 祥一、大下 武志:セメント改良土の定着力評価のためのアンカープレート引抜き遠心模型実験 第43回地盤工学会研究発表会 329 2008