

戦7 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ことが求められている。

しかしながら、改良土を利用するにあたって、現場/室内強度比や施工のバラツキにより、現場での正確な品質を把握できないこと。通常的设计に用いられるクーロン土圧理論では、土の粘着力を過剰に評価する傾向にあり、実務では土の粘着力を評価できないこと。粒状材料をモデル対象とした従来理論は、ブロック体として作用する改良土には適用できないこと等が問題となっている。昨年度までの研究では、新しい品質管理手法の提案、現場での検証、並びにアンカーと改良土を組み合わせた新しい設計方法・理論の提案を行った。今年度では、これらの品質管理手法と改良土とアンカーを組み合わせた設計方法の詳細を詰めるために、混合方法による品質のバラツキの検討とアンカーの干渉距離による影響の検討を行った。

キーワード：改良土、浅層改良、品質管理、不攪乱試料、補強材

1. はじめに

近年、建設発生土に対し、セメント改良を行ない、盛土材や擁壁の裏込め土の利用において粘着力を評価することが求められている。しかしながら、現場/室内強度比や施工のバラツキにより、現場での正確な品質を把握できないこと。クーロン土圧理論では、実務で土の粘着力を評価していないこと。粒状材料をモデル対象とした従来理論は、ブロック体としての改良土には適用できないことが問題となっている。(図1)

<p>問題点(1) 現場での正確な品質を把握・評価することができない</p> <p>↓</p> <p>理由(1-1)室内と現場での密度の違いによる、現場/室内強度比が発生 理由(1-2)施工の混合・攪拌の度合いによる施工のバラツキが発生</p> <p>対策(1) 新しい品質管理手法を提案 対策(1-1)不攪乱試料の採取により、現場/室内強度比を除去 対策(1-2)重錘落下試験機により、施工のバラツキを把握</p> <p>問題点(2) 従来の設計式(クーロン土圧式)を適用することができない</p> <p>↓</p> <p>理由(2-1)実務では、クーロン土圧の粘着力は評価していない (過大評価する傾向があるため) 理由(1-2)前提としている設計対象モデルが異なる (クーロン土圧:粒状材料 改良土:ブロック体)</p> <p>対策(2) 補強材との組み合わせにより、改良土の粘着力(定着力)を評価し、設計に反映 対策(2-1)定着力を設計に評価できる補強材として、アンカーに注目 対策(2-2)改良土に対するアンカー引抜き適心模型により、設計理論を提案</p>
--

図1 改良土の利用における問題点と対策

昨年度までの研究では、新しい品質管理手法の提案、現場での検証、並びにアンカーと改良土を組み合わせた新しい設計方法・理論の提案を行った。今年度では、これらの品質管理手法と改良土とアンカーを組み合わせた設計方法の詳細を詰めるために、混合方法による品質のバラツキの検討とアンカーの干渉距離による影響の検討

を行った。(図2)

<p><昨年度までの研究成果></p> <ul style="list-style-type: none"> ・新しい品質管理手法の現場での有効性を確認 ・改良土中のアンカー体の引抜き設計強度の式を提案 <p><今年度の実施事項></p> <ul style="list-style-type: none"> ・セメント混合方法の違いが改良土の品質に与える影響の把握 ・アンカー体の干渉距離が引抜き強度に与える影響の把握
--

図2 今年度における研究の実施事項

2. セメント混合方法による改良土の品質確認試験

2.1 提案する品質管理方法

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できることが求められている。しかしながら、従来の品質管理方法は(1)不良土ではオーバーコンパクションが起きること。(2)現場と室内試験との密度の異なるため固結強度が異なること。(3)混合の度合いによる施工のバラツキが生じることといった問題より、現場での正確な品質は把握することができず、大きな安全率を設定しているのが実状である。(図3)

そこで提案する新しい品質管理方法は、まず不攪乱試料が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、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)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、現状の品質管理方法の問題点である、現場/室内強度比の影響を排除し、混合の度合いによる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4)

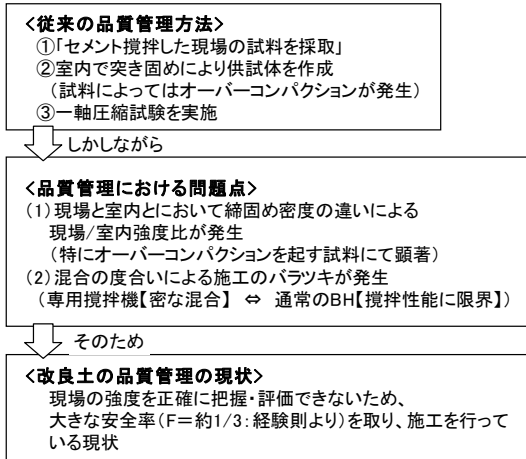


図3 従来の品質管理方法の問題点

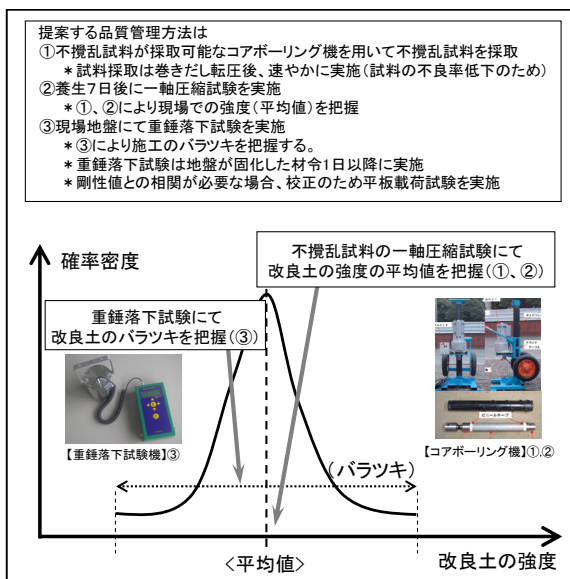


図4 提案する品質管理方法の概要

昨年度では、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、提案する品質管理方法の有効性の検討を行い、有効であるとの結論を得た。しかしながら、大規模現場のプラント混合による良質と考えられる改良土を対象としたため、使用頻度の高いバックホーやスタビライザーによる混合に対して、提案手法が有効であるかの検証を行う必要であるとの結論に達した。そのため、今年度では、上記の2つの混合方法を対象に品質確認試験を実施し、混合方法の影響の把握と品質管理手法の有効性の検討を行った。

2.2 品質確認試験の概要

品質確認試験は、まず、バックホウ、地盤改良用スタビライザーを用いて、セメント(高炉B種)を攪拌混合した改良土を、2層に分けて敷き均し転圧(5回)を行い、実験用の改良土地盤を作成した。次に不攪乱試料採取機を用いてその日中に不攪乱試料の採取し、規定日数(材令1日、7日)養生した後、一軸圧縮試験を実施した。

また、材令1日、7日地盤を対象として、平板載荷試験(1箇所/Case)、重錘落下試験(100箇所/Case)を実施し、地盤剛性のバラツキの把握を行った。(図5)

実験ケースは8つであるが(表1)、Case2、Case4は同じ条件のケースを複数回行った。これは出来る限り多くの不攪乱試料を採取することと、作成地盤の再現性の確認を目的としたものである。

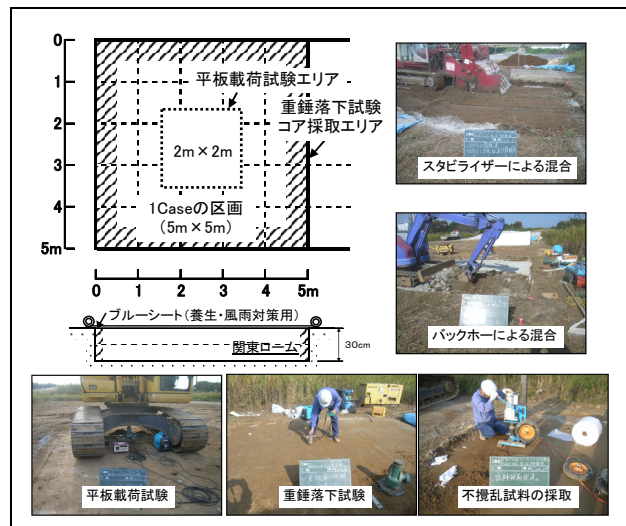


図5 品質確認試験工事の概要

表1 品質確認試験の実験ケース

実験ケース	混合方法	一軸圧縮試験	セメント混合量	取得コア数
Case1			266kg/m ³	31本
Case2-1	スタビライザー	材令7日	133kg/m ³	18本
Case2-2				18本
Case3	材令1日	20本		
Case4-1	バックホウ	材令7日		19本
Case4-2				19本
Case4-3			27本	
Case5	無改良	材令に無関係		32本

*1 セメントは高炉B種を使用

*2 地盤の試料には関東ロームを使用

*3 各ケースにおいて、重錘落下試験と平板載荷試験を実施した。

2.3 試験結果と分析

一軸圧縮試験と重錘落下試験値を統計的に整理した結果を表2と表3に、また縦軸に確率密度関数を取り、各Caseでの強度バラツキ状況を図6と図7に示す。なお、

重錘落下試験の値は平板載荷で校正を行っている。

表 2 一軸圧縮試験の結果

Case	Case1	Case2-1	Case2-2	Case3
混合方法	スタビライザー			BH
セメント量:(kg/m ³)	266	133		
材令:(日)	7			1
データ数:(個)	31	18	18	20
平均値 μ : (N/mm ²)	0.38	0.15	0.09	0.21
標準偏差 σ : (N/mm ²)	0.17	0.04	0.02	0.05
変動係数 V^*	0.44	0.24	0.23	0.25
A: $\mu - 1.28\sigma$: (N/mm ²)	0.17	0.11	0.06	0.15
A': $\mu + 1.28\sigma$: (N/mm ²)	0.60	0.20	0.12	0.28
A'/A: バラツキ: (N/mm ²)	3.56	1.87	1.81	1.93
B: $\mu - 0.8\sigma$: (N/mm ²)	0.25	0.12	0.07	0.17
B': $\mu + 0.8\sigma$: (N/mm ²)	0.52	0.18	0.11	0.26
B'/B: バラツキ: (N/mm ²)	2.08	1.47	1.44	1.49

Case	Case4-1	Case4-2	Case4-3	Case5	伊豆-塚原
混合方法	BH			無改良	プラント
セメント量:(kg/m ³)				-	180~220
材令:(日)	7			-	7
データ数:(個)	19	19	27	32	43
平均値 μ : (N/mm ²)	0.21	0.16	0.18	0.04	0.29
標準偏差 σ : (N/mm ²)	0.05	0.04	0.05	0.01	0.13
変動係数 V^*	0.25	0.27	0.28	0.24	0.45
A: $\mu - 1.28\sigma$: (N/mm ²)	0.14	0.11	0.12	0.03	0.12
A': $\mu + 1.28\sigma$: (N/mm ²)	0.28	0.22	0.24	0.05	0.46
A'/A: バラツキ: (N/mm ²)	1.91	2.07	2.12	1.90	3.74
B: $\mu - 0.8\sigma$: (N/mm ²)	0.17	0.13	0.14	0.03	0.18
B': $\mu + 0.8\sigma$: (N/mm ²)	0.25	0.20	0.22	0.04	0.39
B'/B: バラツキ: (N/mm ²)	1.49	1.56	1.58	1.48	2.13

*1 $V = \sigma / \mu$

A: 10%でのバラツキ評価 B: 20%でのバラツキ評価

表 3 重錘落下試験の結果

Case	Case1	Case2-1	Case2-2	Case3
混合方法	スタビライザー			BH
セメント量	266 (kg/m ³)	133 (kg/m ³)		
材令	7日強度			1日強度
データ数	102	100	101	101
平均値 μ : (MN/m ²)	83	52	41	33
標準偏差 σ : (MN/m ²)	27	14	11	8
変動係数 V^*	0.33	0.28	0.26	0.24
A: $\mu - 1.28\sigma$: (MN/m ²)	48	34	28	23
A': $\mu + 1.28\sigma$: (MN/m ²)	117	70	55	43
A'/A: バラツキ	2.44	2.10	1.98	1.86
B: $\mu - 0.8\sigma$: (MN/m ²)	61	40	33	27
B': $\mu + 0.8\sigma$: (MN/m ²)	105	63	50	39
B'/B: バラツキ	1.71	1.57	1.52	1.46

Case	Case4-1	Case4-2	Case4-3	Case5
混合方法	BH			無改良
セメント量	133 (kg/m ³)			-
材令	7日強度			-
データ数	100	100	100	99
平均値 μ : (MN/m ²)	56	43	42	9
標準偏差 σ : (MN/m ²)	14	7	10	2
変動係数 V^*	0.25	0.16	0.24	0.20
A: $\mu - 1.28\sigma$: (MN/m ²)	38	34	29	6
A': $\mu + 1.28\sigma$: (MN/m ²)	74	51	55	11
A'/A: バラツキ	1.94	1.53	1.89	1.70
B: $\mu - 0.8\sigma$: (MN/m ²)	45	37	34	7
B': $\mu + 0.8\sigma$: (MN/m ²)	68	48	50	10
B'/B: バラツキ	1.50	1.30	1.48	1.39

*1 $V = \sigma / \mu$

A: 10%でのバラツキ評価 B: 20%でのバラツキ評価

*太字の単位は全て(MN/m²)

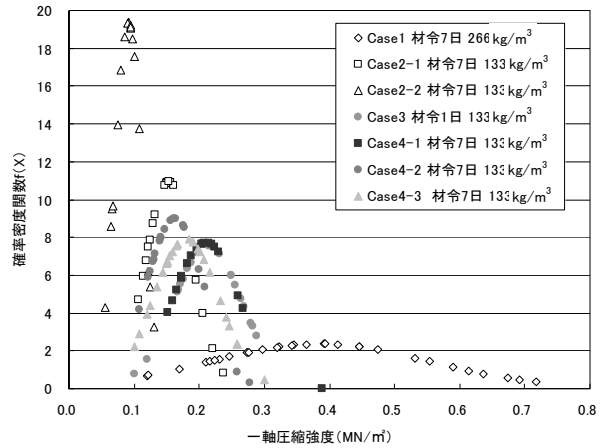


図 6 一軸圧縮強度のバラツキ状況

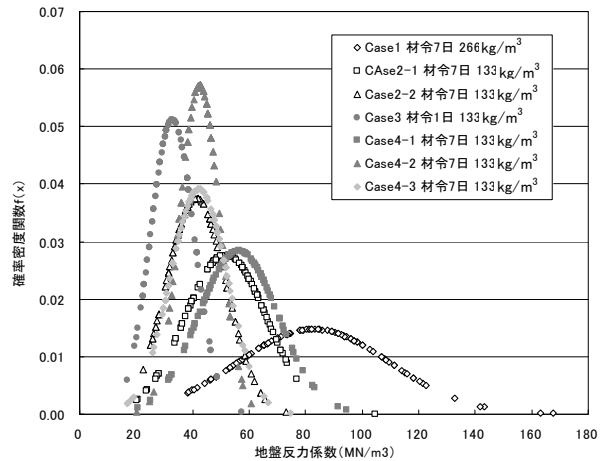


図 7 重錘落下試験のバラツキ状況

試験の結果を下記にまとめる。

- 無改良のケース (Case5) は、セメント改良したケースと比較して、強度が異なるものの、変動係数とバラツキ差 (A'/A, B'/B) においては、セメント量の少ないケース (133kg/m³) と同程度であった。
- 混合方法の違いによる改良強度のバラツキについては、両試験とも大きな差を見ることが出来なかった。
- セメント量の多いケース (Case1) における改良強度のバラツキは、セメント量の少ないケースと比較して、大きなバラツキを有した。これは、昨年度の塚原でのデータと同じ程度のバラツキであった。
- よって、改良強度のバラツキに影響を与える要因は、混合方法ではなく、セメント量であり、100~150kg/m³程度では約 2 倍、200kg/m³ 以上の混合では約 3~4 倍 (ともに 10%バラツキ) の範囲である。(図 8)

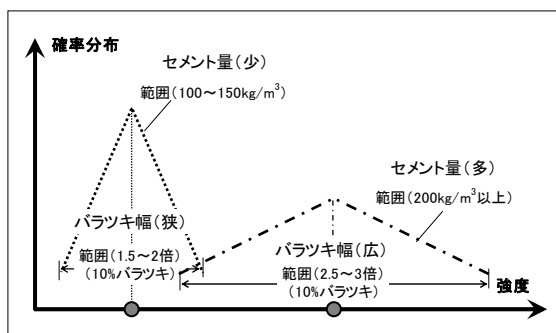


図 8 改良強度のバラツキ傾向

- 設計においては、セメント量に応じて、想定するバラツキ幅を変える方法が望ましいものと考えられる。
- 地盤の剛性（重錘落下・平板載荷）と地盤の強度（一軸圧縮）との相関性に関して、明らかな強度・剛性差については、同様の傾向を示すものの、同程度の強度範囲における相関は低いものと考えられる。
- しかしながら、バラツキ具合（変動係数 V 、 A' / A 、 B' / B ）に関しては、大きな差を見られない。そのため、統計的な処理により、強度と剛性をリンクさせることで、要求強度に応じた信頼性設計が可能になるものと考えられる。（図 9 参照 昨年度提案）

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

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

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 9 設計基準強度の設定方法の例

3. アンカーの干渉に関する引抜き遠心模型実験

3. 1 昨年度までの成果

不良土として処分されている建設発生土に対し、セメント混合による改良を行ない、擁壁背面部への作用土圧の低減を企図した設計を行うことで、建設コストの縮減や建設発生土の減少による環境への配慮が求められている。しかしながら、通常土の設計に用いられるクーロン式を、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。そのため改良土の定着力（固結力）を評価する設計方法が必要とされている。（図 10）

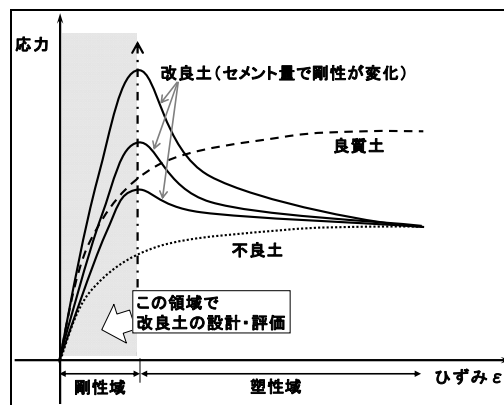


図 10 改良土の定着力の評価のイメージ

そこで、改良土の定着力を設計に組み込むことができる補強材として、アンカープレートに注目し、セメント改良土を補強土壁の裏込め材として使用することを企図した。昨年度においては、改良土中のアンカープレート引抜き試験を行い、引抜き強度の設計式の提案を行った。（図 11 参照 昨年度提案）

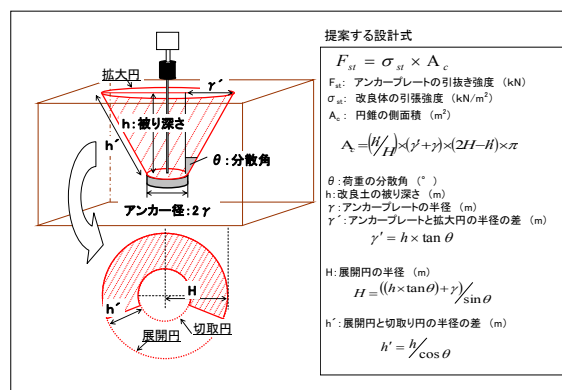


図 11 改良土のアンカー引抜き強度の設計式

今年度では、アンカーどうしの配置距離が、引抜き強度に与える影響を把握するために、アンカー体の 2 本同時引き抜きによる、遠心模型実験を行った。

3. 2 アンカー引抜き遠心模型実験の概要

図 12 に実験の概要図を示す。アンカーの配置距離を実験パラメータとして設定し、他のパラメータ（被り深さ、改良強度、アンカー径）は前年度の設定値を踏襲することとした。改良土の材料は、強度のバラツキを低減するために粒径の小さい東北硅砂（特砂 8 号）を用いた。実験ケース数は 6 ケースである。（表 4）

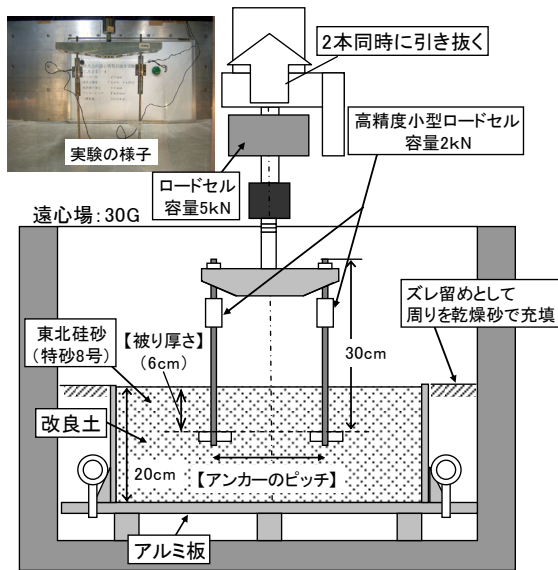


図 12 アンカー引抜き実験の概要

表 4 アンカー引抜き実験の実験ケース

Case	アンカー径 cm	被り深さ m	改良強度 kN/m ²	引張強度 kN/m ²	ピッチ m
Case1	81	1.8	400	40	1.47
Case2	81	1.8	400	40	2.49
Case3	81	1.8	400	40	2.94
Case4	81	1.8	400	40	3.33
Case5	81	1.8	400	40	4.38

* 数字は全て実大スケール換算

3. 3 実験結果

i) アンカープレート引抜きの影響範囲

引抜き実験後に得られた改良土の浮上り亀裂による円(影響範囲)から、荷重伝達による分散角の算出を行った。亀裂の発生状況を図13に示す。結果、どのケースにおいてもφ150の範囲は発生しており、分散角にして45°程度であることが分かった。

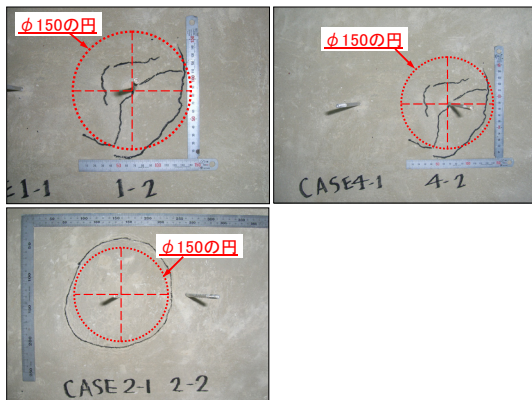


図 13 引抜き試験後の亀裂の発生状況

ii) 実験結果とまとめ

実験結果を表5に整理する。また、アンカーの配置距離により、どの程度の干渉が発生するか、検討を行った。

(図14)

表 5 実験結果のまとめ

Case	アンカーピッチ (m)	ピッチ/ 拡大円	アンカー(右側)		アンカー(左側)		平均値 引抜き荷重値 (kN)
			引抜き荷重値 (kN)	破壊歪み (%)	引抜き荷重値 (kN)	破壊歪み (%)	
Case1	1.47	0.7	600	1.11%	586	1.08%	593
Case2	2.49	1.1	545	2.61%	553	2.69%	549
Case3	2.94	1.3	540	1.36%	568	1.33%	554
Case4	3.33	1.5	817	1.47%	730	1.47%	774
Case5	4.38	2	716	1.36%	725	1.33%	720

* 数値は全て実大換算

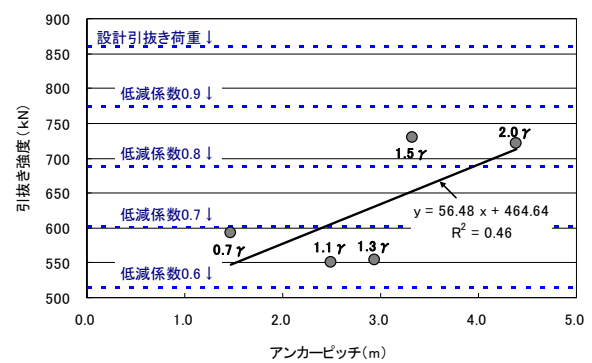


図 14 アンカーピッチと引抜き強度との関係

結果を下記にまとめる。

- 最大引抜き荷重到達時のひずみ量は、おおよそ1.0～2.0%であり、前年度の引抜き試験とほぼ同様の結果であった。破壊時のひずみ量はアンカーピッチに依存しないことが分かった。
- 荷重の分散角について、前年度(35°近辺)と異なる結果となった。これは、改良土の強度・施工のバラツキによるものと考えられ、設計時においては、荷重分散の角度に一定の余裕幅(10°程度 低減係数で0.7、安全率で1.46)を見ておくことが求められる。
- アンカーピッチが引抜き荷重に与える影響について、定量的な傾向はみることが出来なかった。しかしながら、1.5(アンカーピッチ/拡大円)を切ると大きな影響を受けており、定性的な傾向はあると考えられる。
- これより、影響の評価方法としては、低減係数を設定し、安全率を見込む方法が適切であると考えられる。
- アンカーピッチは少なくとも拡大円に対し、1.5以上を確保し、0.8程度の低減係数(安全率で1.25)を見込む必要があるものとする。やむを得ず1.5を割り込む場合には、0.6以下の低減係数(安全率で1.7)を

設定することが望ましい。

○前年度と今年度の結果を踏まえ、改良土中に設置されたアンカー体の引抜き強度の設計フローの提案を行う。これにより、任意に設定したアンカー体の引抜き強度を推定でき、静的時・動的時にアンカー体に作用する引張り荷重に応じた設計が可能になるものとする。

(図 15)

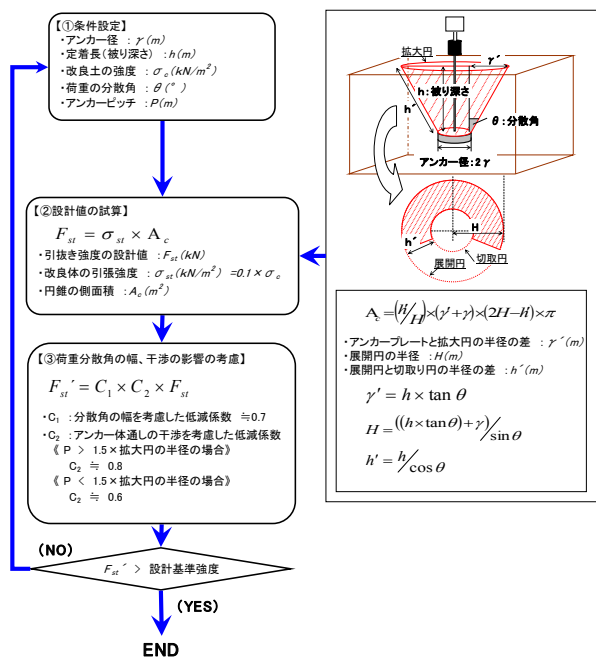


図 15 改良土中のアンカー引抜き強度の設計フロー

4. 今後の課題

今年度においては、混合方法による品質のバラツキの検討とアンカーの干渉距離による影響の検討を行い、品質管理手法の確立並びに、アンカー引抜き強度の設計フローの提案を行った。

次年度においては、品質管理手法の確立に向けた一般的な建設工事現場でのデータ採取による情報の蓄積と、改良土の土構造物への適用性を把握するための、地震時作用土圧の検討と対策について研究を行う予定である。

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

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) 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

6) 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.

A STUDY ON THE IMPROVED SOIL USED FOR EARTH STRUCTURE

Abstract : Because of the shortage of dump yards, it is required to reduce and recycle the construction surplus soil. From the cost reduction for public works, reasonable design and quality of the earth structure is required as well. If the strength characteristic of improved soil is considered for the earth structure, for example the retaining wall, it is possible to design reasonable and economical earth structure.

However, we have two problems for the use of improved soil. The first problem is to be difficult to know the quality of improved soil at construction field. The second problem is to not be able to use the Coulomb design theory because the target model is difference between improved soil and ordinary soil.

In 2007, we conducted verification whether new quality control method of improved soil we propose is effective or not in construction field, and conducted the pulling resistance test of anchor plate in improved soil by centrifuge experiment because of the valuation of strength characteristic for improved soil.

In 2008, we conducted the quality control method test to know that the difference of mixing methods are influence in the quality of improved soil, and conducted the pulling resistance test for two anchor plates in improved soil at a time to know that the distance between anchors are influence in the pulling resistance.

Key words : improved soil, surface mixing soil stabilization, quality control, undisturbed sampling, reinforcement