

有機質土の性状と施工性に関する研究 (その3)

——埋戻し工事を想定した野外安定処理実験——

齋藤二郎 西林清茂
細谷芳己

Studies on Characteristics of Organic Soils and their Applications (Part 3)

——Field Test Assuming Backfill Work on Stabilization of Organic Soils——

Jiro Saito Kiyoshige Nishibayashi
Yoshimi Hosoya

Abstract

The authors performed field tests assuming backfill works involving stabilization of organic soils with the purpose of effectively utilizing such soils as construction materials. The mean water content of the organic soil considered in this case was 180% and the organics content 30%.

As a result of the tests, the facts below were disclosed. (1) i) The addition of portland cement plus gypsum is effective for stabilization of organic soils, with especially the effect of gypsum as an aid for strength gain being high, ii) the addition of sand is also effective providing a compaction effect, iii) the addition of quicklime reduces strength in case of excessive mixing. (2) Mixing machines (backhoe, cultivator, large mixer) and tamping machines (backhoe, tamper) are adequately serviceable in stabilization of organic soil of the degree used in the tests. The backhoe is particularly useful as a general purpose machine. (3) In case of stabilization treatment, not only density control, but also strength control is needed for quality control. (4) The durability at 100 days under a natural environment was good.

概要

有機質土の安定処理による建設材料としての有効利用を目的として、埋戻し工事などを想定した野外実験を実施した。対象土は平均含水比 $w=180\%$ 、有機物含有量 $Lig=30\%$ の腐植土である。その結果、以下の事が判明した。

(1) 配合効果…… i) 有機質土の安定処理にはセメント・石膏混合が有効であり、特に石膏の助剤としての役割が大きい。ii) 砂混合も締固め効果を増すために有効である。iii) 生石灰混合ではミキサーなどによる練りすぎは、むしろ強度低下をきたすので施工上注意を要する。

(2) 施工機械……バックホー、耕運機、大型ミキサー；タンパー等の攪拌機械、転圧機械は、今回程度の有機質土の安定処理には十分使用できる。特に、バックホーは汎用機械として有用である。

(3) 品質管理……安定処理土の場合、品質管理は密度管理だけでは不足であり、強度管理も是非必要となる。

(4) 耐久性……自然環境下での材令100日間における耐久性は十分であった。

1. まえがき

不良土の代表的なものである有機質土は、一般に安定処理の範ちゅうから除外して考えられており¹⁾、そのため従来は、捨土して良質土で置き換えたり、サンドイッチ状に良質土と併用したり、極端な場合には施工場所を他に回避するなどの処置がとられていた。

しかし、最近の建設工事では不良土としての“発生土”の中に有機質土の入ることが次第に多くなっていることに加え、埋戻し用良質土の不足、捨場の不足、環境公害問題にからむ輸送条件の制約などから、そのような不良土もできるだけ現場内で処理・処分する方向に変わってきている。

このような観点から、筆者らは数年、有機質土の安定

処理による有効利用を目的とした室内実験を行ない、安定処理土の建設材料としての可能性を追求してきた。その結果、セメント・石膏混合が有機質土の処理に著しい効果を示すことが判明し、その強度特性もかなり明らかとなってきた²⁾³⁾。

今回は、それらの室内試験の結果をふまえて、埋戻しなどを想定した現場規模での野外実験を行ない、混合材の効果、混合方式・転圧方式の相違と強度特性、施工性、耐久性などについて調査した。

2. 対象土と混合材料

2.1. 対象土

対象とした有機質土は千葉県佐倉市臼井より採取したものであり、現地での自然含水比は $W=180\% \sim 310\%$ で広範な分布を示していたが、運搬・放置後における実験時の含水比は $W=150\%$ (表層部) $\sim 210\%$ (中央部) に低下していた。

現場実験では、含水比の差を出来るだけなくすようバックホーでよく混ぜあわせて試料土とした。この時の平均含水比は $W=180\%$ 、有機物含有量 $Lig=30\%$ であった。

室内実験では、現場実験時の含水比と合わせるよう強制練りミキサーで十分練り返し、均一試料となるよう試料調整した。得られた調整試料土の土性を表-1に示す。

2.2. 混合材料

混合材としての砂は有機質土の物性を改良し、締め固め効果をもつ効果を期待するものであり、利根川産の川砂である。

安定処理材としては従来の室内実験同様、下記の市販

試験項目	混合土の種類	
	対象土 腐植土	混合土 川砂
比重 G_s	2.13	2.73
含水比 W (%)	178~182	6~7
有機物含有量 Lig (%)	31.10	0.71
PH	5.08	6.43
コンシステンス特性	液性限界 W_L (%)	112.78
	塑性限界 W_P (%)	63.60
	塑性指数 I_P (%)	49.18
粒	レキ分 (%)	12.70
	砂分 (%)	39.80
	シルト分 (%)	28.50
	粘土分 (%)	18.00
	最大粒径 mm	38.00
	均等係数	—
度	曲率係数	—
		0.12

表-1 対象土と混合用砂の物理特性

材料を用いた。

○セメント……秩父セメント(株)製 普通ポルトランドセメント

○石膏(助剤)……吉野石膏販売(株)製 二水石膏

○生石灰……秩父石灰工業(株)製 特号生石灰

3. 実験方法

3.1. 野外実験方法

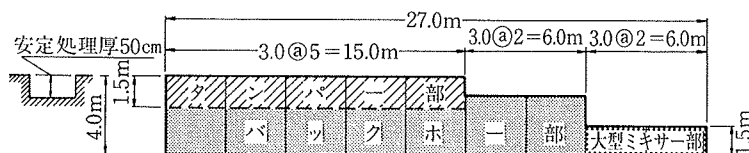
3.1.1. 規模と実験仕様 現場実験の規模は、埋戻し工事を想定し、図-1に示すように各混合材の配合割合、混合方式、転圧方式の相違により9ブロックに区分した。なお、図中の混合割合は対象となる腐植土の湿潤土に対する重量比である。

3.1.2. 使用機械 使用機械の用途と仕様をまとめて表-2に示す。

混合機械としては、汎用性のあるバックホー、スタビ

機 械	用 途	仕 様
バックホー	掘削 混合 転圧	日立UH04 機体重量 9.0t シュー幅 510mm 接地圧 0.45kg/cm ² バケット容量 0.2m ³ バケット転圧面積 30cm×50cm
		型 式 TV808型 所要馬力 3~4Ps 重 量 80kg 振 動 板 270mm×350mm 振 動 数 550~650/min
		山中式強制練りミキサー 型 式 YG-250 出 力 1.1kW ドラム寸法 $\phi 500\text{mm} \times 150\text{mm}$ 容 量 0.25m ³
		耕 運 機 混 合 型 式 芝浦SK251

表-2 使用機械の用途と仕様



ブロック	1	2	3	4	5	6	7	8	9
混合方式	現地混合	○	○	○	○	○	○	○	
	ミキサー混合								○
混合材料 (腐植土に対する重量比)	腐植土	100	100	100	100	100	100	100	100
	川砂	0	0	100	50	100	100	0	100
	セメント	10	10	8	8	8	0	8	8
	石膏	0	0	2	2	2	0	2	2
	生石灰	0	0	0	0	10	10	0	0
混合機械	バックホー	耕運機	バックホー	バックホー	バックホー	バックホー	バックホー	大型ミキサー	大型ミキサー
転圧機械	(タンパー)バックホー	(タンパー)バックホー	(タンパー)バックホー	(タンパー)バックホー	(タンパー)バックホー	バックホー	バックホー	バックホー	バックホー

図-1 現場安定処理実験の規模と実験仕様



写真-1 バックホーによる混合状況 (No. 6 ブロック)

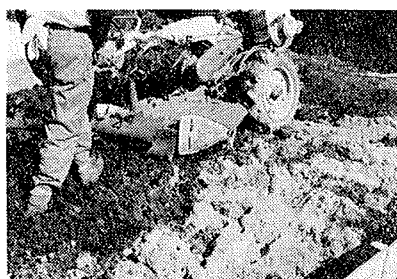


写真-2 耕運機による混合状況 (No. 2 ブロック)



写真-3 大型ミキサーによる混合状況

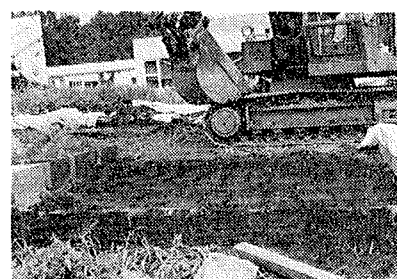


写真-4 バックホーによる転圧状況 (No. 3 ブロック)



写真-5 タンパーによる転圧状況 (No. 3 ブロック)

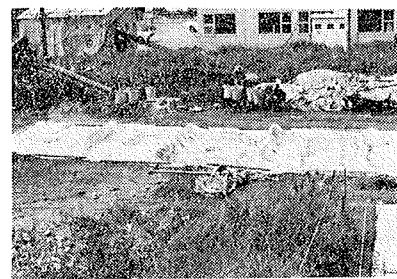


写真-6 養生状況 (野外実験場全景)

ライザータイプの耕運機、プラント混合を想定した大型ミキサーを使用して各々20分間混合した。

転圧機械としては、バックホー (バケット重量 約700 kg を1 m の高さから自由落下)、タンパー (重量 80 kg) を選び、混合1日後各々2回づつ転圧した。

3.1.3. 養生方法 各ブロックとも安定処理地盤表面にビニールフィルムを覆い、さらにビニールシートをかけて日照による表面乾燥、風雨による表面劣化を防いだ。試験材令は、7日、28日、100日とした。

3.1.4. 試験方法 安定処理した地盤の支持力特性を把握するために現場 CBR 試験と平板載荷試験を行なった。また、砂置換法により現場密度と施工含水比を調査した。各試験は各々2箇所づつ行なった。

3.2. 室内実験方法

3.2.1. 処理土の性状試験 安定処理土の強度特性を把握するために、室内 CBR 試験、一軸圧縮強度試験を実施した。

3.2.2. 供試体作製方法 各混合材の配合は、現場実験の配合にあわせて、図-1 に示したものと同様の配合とした。供試体作製方法は、調整試料土に所定量の混合材を加え、現場混合時間に合わせて20分間ソイルミキサーで混合した。1日放置後、「締固めて作る安定処理土の締固めおよび一軸圧縮試験方法」(土質工学会 JIS 原案)を参考にして土質試験法に定める第一法エネルギー ($E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{kg}/\text{cm}^3$) で締固めた。

なお、現場混合土の採取試料による室内試験用供試体も同様の方法で締固めた。

3.2.3. 養生方法 作製した供試体は養生中の乾燥を

防ぐため、パラフィンシールしてビニール袋で密封し、室温20°Cで室内静置養生を行なった。試験材令はいずれの試験も7日、28日である。

4. 実験結果と考察

4.1. 混合方式の相違と強度特性

図-2 は混合方式の相違と強度の関係を示したものである。転圧条件はいずれもバックホーを使用している。配合条件は No. 1 と No. 2, No. 3 と No. 8, No. 4 と No. 9 が同一条件で対応している。

図より、粉碎能力の大きい耕運機、および強制練りで攪拌能力の大きい大型ミキサーは、いずれもバックホーより攪拌混合効果大となることは当初予想した通りであったが、攪拌混合専用機械である耕運機や大型ミキサー

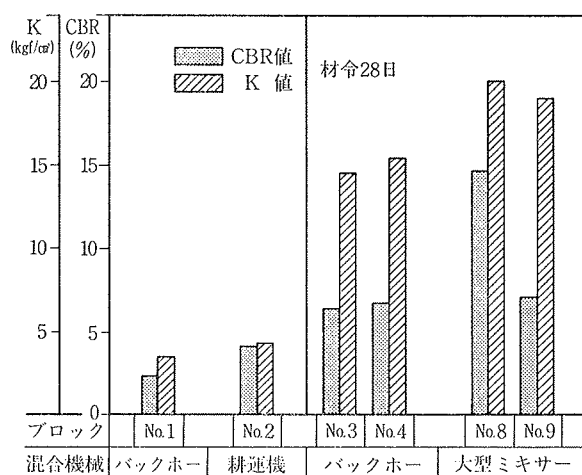


図-2 混合方式の相違と強度の関係

に対して、掘削専用機械であるバックホーを使用して攪拌・落下混合するだけでも60~70%の攪拌効果が得られることは、有機質土の安定処理における攪拌・混合作業にバックホーが十分使えることを示すものとして興味深い。

4.2. 転圧方式の相違による強度特性

図-3は転圧方式の相違と強度の関係を示したものである。混合条件はいずれもバックホーを使用している。比較の対象はNo. 1~No. 5ブロックである。転圧効果は重錘の重量、落下高、落下回数などの締固め条件により種々変化するが、今回実施した条件では全体的にタンパーによる転圧がバックホーによる転圧よりも優れている。特に、No. 1, No. 2に比較してNo. 3, No. 4, No. 5ブロックのタンパーによる転圧効果が大きいのは、砂混合によるタンパーの振動締固めの影響が寄与しているものと考えられる。

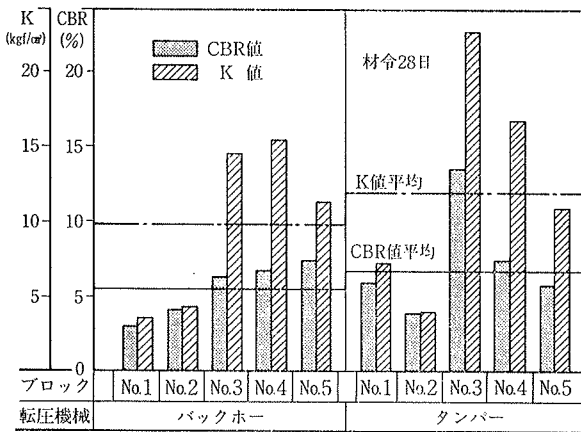


図-3 転圧方式の相違と強度の関係

4.3. 現場条件および室内条件の混合・転圧効果と品質管理の検討

図-4は①現場混合・現場転圧, ②現場混合・室内突固め, ③室内混合・室内突固めによる混合・転圧効果をCBR値で比較したものである。

図より、混合・転圧効果を全体としてみると(但し、No. 6ブロックを除く)、現場混合・現場転圧値は室内混合・室内突固めの値に対して18%~97%、平均45%であり、現場混合土を室内に持ち込んで突固めたものについては39%~127%、平均98%を確保している。このことから、今回実施した現場実験における混合状態(バックホーまたは大型ミキサー)は比較的良好であったにもかかわらず、前述の現場転圧条件(バックホー)では強度を十分発揮するまでにいたらなかったことがわかる。ちなみに、室内突固めエネルギーは $E_c = 5.6 \text{ cm} \cdot \text{kg/cm}^3$ であっ

たが、現場転圧エネルギーは $E_c \approx 1 \text{ cm} \cdot \text{kg/cm}^3$ と約1/6の転圧エネルギーであった。

混合材の配合効果については4.4.で詳しく述べるが、現場実験値は室内実験値ほど配合効果が明確でない。これは強度が混合材だけでなく、転圧条件によっても大きく影響を受けることを示すものである。

今回は埋戻し工事を想定してバックホーによる簡便な転圧方式を採用したが、以上の実験結果からみると重錘を大きくするとか、転圧回数を増すとかいった工夫や、あるいはタイヤローラ、振動ローラ、タンピングローラといった転圧専用機械の使用も可能であれば十分な効果が期待できると考えられる。

ところで、この時の室内混合・室内突固め値に対する締固め密度は、表-3に示すように現場混合・現場転圧では73%~99%、平均92%、現場混合・室内突固めで86%~106%、平均99%を確保している。この密度割合は先の強度とも良い相関性を示しており、わずかの密度変化が強度に大きく影響している。

以上のことから、有機質土のような軟弱土を安定処理した場合の品質管理方法としては、密度管理だけでなく、強度管理が是非必要となることがわかる。

ブロック	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	平均
現場混合・現場転圧	94	98	88	87	73	93	99	98	96	92%
現場混合・室内突固め	106	103	96	101	86	100	103	100	97	99%

表-3 室内混合、室内突固めに対する密度の割合(%)

4.4. 配合効果に対する総合検討

図-5は今回実施した全強度試験の結果である現場CBR値、室内CBR値、K値、 q_u 値の7日、28日強度の各合計値の平均で個々の値を除き、無次元化したものである。

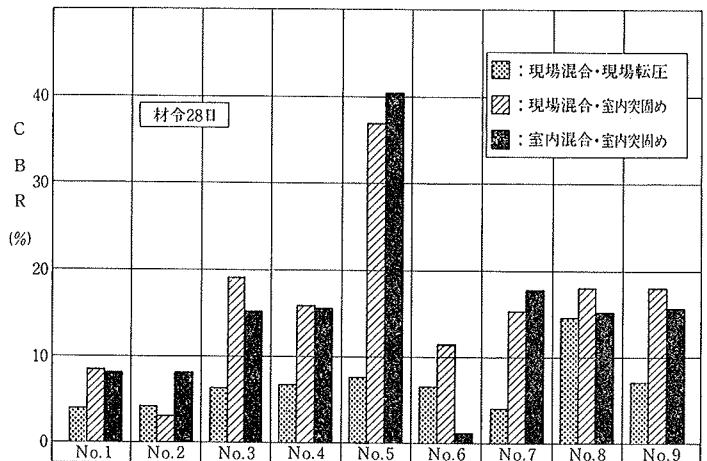


図-4 現場条件と室内条件の相違による CBR 値の比較

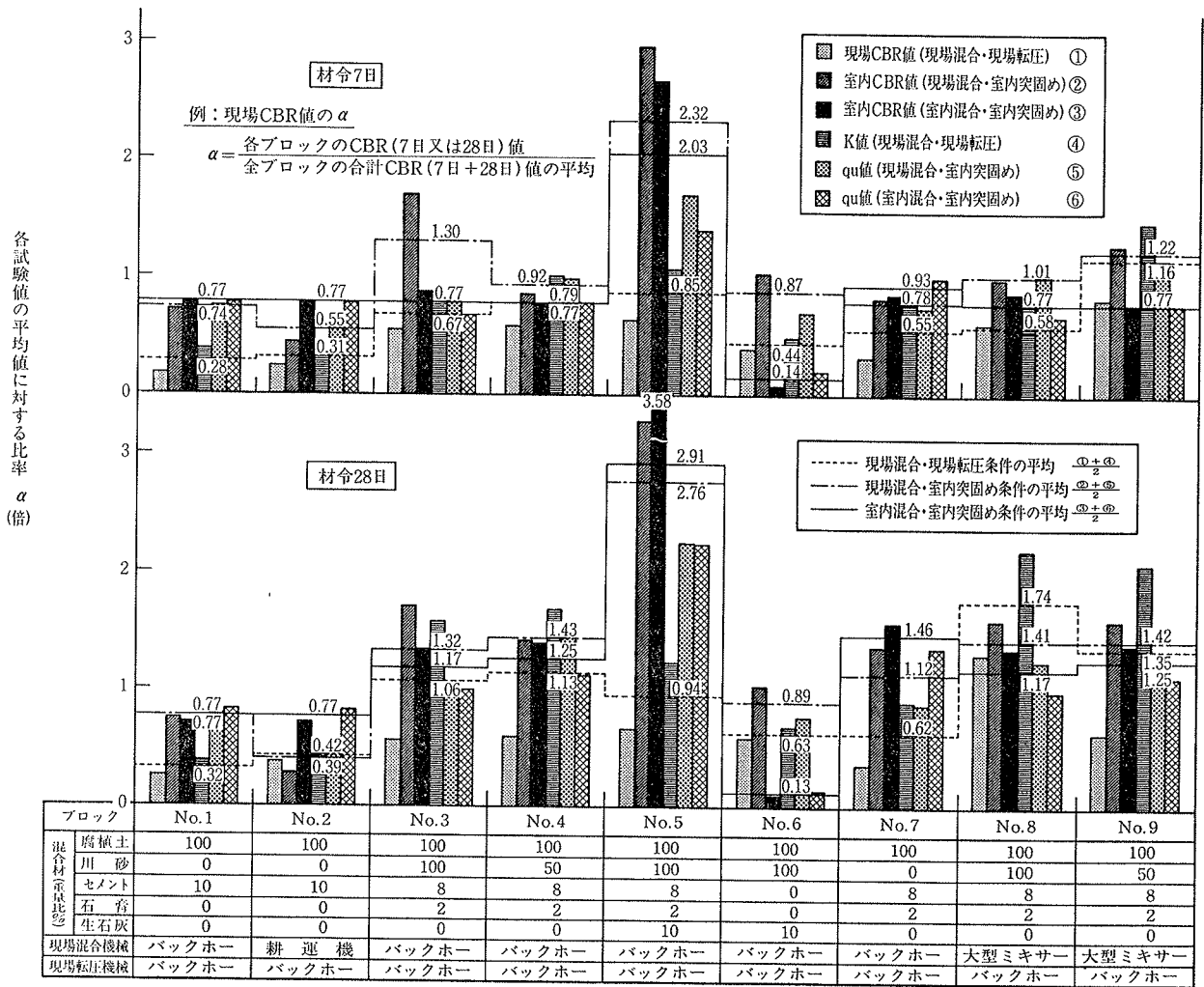


図-5 各ブロックの配合効果と強度の関係

図より、7日強度と28日強度を全体として比較すると、材令に伴い現場混合・現場転圧値は平均で約21%、現場混合・室内突固め値は平均で約20%、室内混合・室内突固め値は平均で約35%の強度増加を示している。

配合との関係を見ると、セメント単独、生石灰単独のものに比較して、セメント・石膏混合系のは材令に伴う強度の伸びが大きいようである。しかし、各ブロックの強度の大小関係は7日と28日では大差なく、ほぼ同様な傾向を示している。

そこで、配合効果を平均的な強度の面から28日強度で比較すると表-4のようになる。

順位	1	2	3	4	5	6	7	8	9
現場混合・現場転圧	8 (1.99)	9 (1.37)	4 (1.18)	3 (1.11)	5 (1.06)	6 (0.77)	7 (0.67)	2 (0.51)	1 (0.38)
現場混合・室内突固め	5 (2.15)	4 (1.14)	9 (1.11)	8 (1.11)	3 (1.02)	7 (0.87)	6 (0.70)	1 (0.61)	2 (0.32)
室内混合・室内突固め	5 (2.25)	7 (1.15)	4 (0.98)	9 (0.98)	8 (0.91)	3 (0.91)	1 (0.62)	2 (0.62)	6 (0.10)

()内は28日材令強度に対する平均比率を示す。

表-4 各ブロックの平均強度の評価

まず室内実験の結果より、強度的に一番大きいのは砂、セメント・石膏、生石灰の相乗効果を期待した No. 5 であり、次いでセメント・石膏混合系の No. 7, No. (4, 9), No. (3, 8) である。砂混合量の増加とともに強度は小さくなっているが、これは配合条件を対象土である有機質土重量に対して決めたため、砂の混合により一定容器内のセメント・石膏量が相対的に減ったことが原因と考えられる。しかし固結材であるセメント・石膏量が減っても強度的に大差ない(むしろ現場混合・室内突固めでは砂混合土の No. 3, No. 4, No. 8, No. 9 が砂無混合の No. 7 より強度大) ことから砂混合の有用性がわかる。

次がセメント単独混合の No. (1, 2) であり、これと助剤として石膏を加えた No. 7 を比較すると、No. 7 の強度が約2倍と著しく、石膏の助剤としての効果が従来の室内実験結果と同様に今回の室内実験でも確認できる。

最後が生石灰単独混合であり、強度的にはきわめて小さく処理効果がみられない。

一方、現場実験結果を見ると、全体的に強度は室内実験値と比較して小さく、しかも各混合材の相乗効果を期

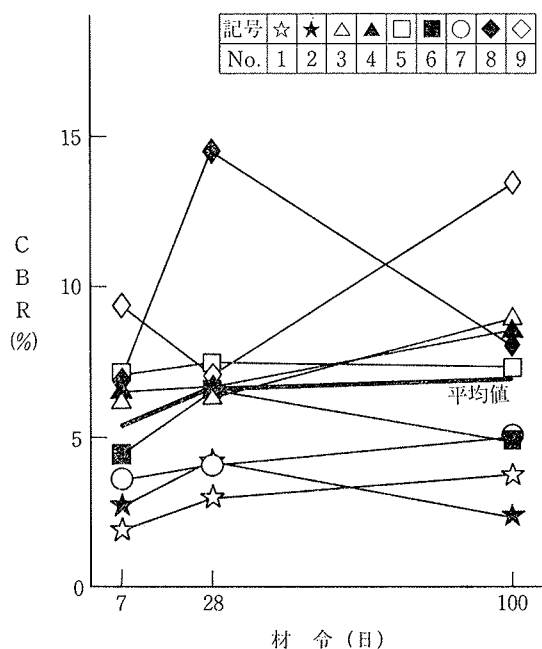
待した No. 5 やセメント・石膏混合の No. 7 が大きく後退している。これは、4.3.でも述べたように転圧不足による影響が配合効果以上に影響したためであろう。これに関して注目すべきことは、表中 現場混合・室内突固めで転圧不足が解消し、大きく強度増加していることである。

また、転圧が不十分なためにセメント・石膏の混合強度は室内ほど大きくないが、No. 7 ブロックは No. 1, No. 2 ブロックに比較して1.5~2 倍の強度を発揮しており、この意味では今回の現場実験でも従来の室内実験結果と同様、石膏の助剤としての効果がみられる。

No. 3, No. 4 ブロックの砂混合効果は転圧不足にもかかわらず No. 7 ブロックほど室内実験値との隔差はない。このことは、現場での転圧・締固めに砂の混合が有効に働くことを示すものである。

しかし、大型ミキサー混合の強制練りによる No. 8, No. 9 ブロックは室内実験値とほぼ同程度の強度を示しており、転圧条件の影響を他のブロックほど受けていない。したがって、現場施工におけるプラント混合も転圧不足を補う意味で十分期待できるものと考えられる。

ところで、図中 No. 6 ブロックの生石灰単独混合は他のセメント系混合と異なり、室内実験値に比較して現場実験値が大きい。このことは生石灰混合の施工法に対する貴重な示唆を与えるものである。すなわち、生石灰を有機質土、特に腐植土に適用する場合、ミキサー等によって強制練りすることは腐植土の骨格構造をくずし、しかも繊維質有機物質内部の含有水までも放出させて著しく締固め効果を妨害することになるので注意を要する。



図一6 材令による現場 CBR 値の変化

4.5. 耐久性

図一6は材令による現場 CBR 値の変化である。多少のバラツキは見られるが、平均的に強度は材令に伴い若干増加している。実験が10月から1月にかけて実施されたことを考えれば、現場施工における耐久性もかなり期待できるものと考えられる。

5. まとめ

以上、有機質土の安定処理による建設材料としての有効利用をはかる目的で、埋戻し工事などを想定した現場実験を行ない、その結果以下のことが判明した。

(1) i) 今回程度の有機質土の安定処理には、セメント・石膏混合は有効であり、特に石膏の助剤としての役割が大きいという従来の室内試験結果が現場実験でも確認できた。

ii) 砂混合も締固め効果を増すために非常に有効である。

iii) 生石灰混合においては、ミキサーなどによる練りすぎはむしろ強度低下をまねくが、セメント系にはそれがいいことから、混合材の選定と施工法には注意を要する。

(2) 攪拌機械として選定したバックホー、耕運機、大型ミキサー、および転圧機械として選定したバックホー、タンパーなどいずれの施工機械も十分使用可能である。

しかし、今回の現場実験では攪拌混合効果は十分であったが、転圧効果は不十分であり、今後転圧方式に工夫を加えればより一層十分な効果が発揮できるものと期待される。

(3) 現場密度は室内実験値の約92%、強度は約45%であり、一方現場混合土を室内突固めしたものは両者98~99%を確保した。このことから、安定処理土の締固め効果の品質管理は密度管理だけでは不足であり、強度管理も是非必要である。

(4) 安定処理地盤の材令100日における耐久性はかなり期待できる。なお、材令100日以降の耐久性についても調査中であり、他の機会に報告したい。

参考文献

- 1) 例えば、土木工学ハンドブック、第4章 地盤改良と安定処理、土木学会編、(1975)、p. 1159
- 2) 斎藤、西林、細谷：有機質土の性状と施工性に関する研究(その1)―セメント系安定処理による強度特性について―大林組技術研究所報、No. 16、(1978)
- 3) 斎藤、西林、細谷：有機質土の性状と施工性に関する研究(その2)―セメント・石膏混合土の強度特性―、大林組技術研究所報、No. 18、(1979)