

電気炉還元スラグによる浚渫土の土質改良現地試験

THE FIELD TESTING OF THE IMPROVEMENT OF DREDGED SOIL USING REDUCING SLAG FROM ELECTRIC ARC FURNACE

金川 淳*・桑山 忠**

by Atushi KANAGAWA and Tadashi KUWAYAMA

1. はじめに

鉄鋼生産過程での副産物である鉄鋼スラグは産業廃棄物に位置付けられているが、多くの研究により路盤材、コンクリート用骨材、セメントへの添加材としての再利用が進められている^{1), 2), 3)}。この中で、電気炉還元スラグ(以下還元スラグという)は、産出する事業所や、同じ事業所でも生産する鋼種ごとに化学成分が異なること、CaO成分に起因する膨張特性等の問題点があり、土木材料としての利用が困難であったため、鉄鋼スラグの中でも最も再利用率が低いのが現状である。

しかしながら、還元スラグの化学成分はセメントの化学成分に比較的近く、水硬特性をもつことが確認されており、著者らはその特性を利用し超軟弱土である浚渫土の土質改良についての室内試験を行い、その効果が確認されつつある^{4), 5)}。

今回、還元スラグを用いて浚渫土の土質改良が可能であることが判明したので、現地試験によって実用に向けての問題点等を調査した。以下にその結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 改良材

本実験では、表1に示す5種類の軟弱土改良材を用いた。ここで湿粉は還元スラグ徐冷後、防塵のため散水処理を行ったもの、乾粉はそれを行っていないものである。また軟弱土改良材の混合率は、土の乾

表1 軟弱土改良材の種類と混合量

改良材	混合量
還元スラグ(乾粉)	20%
還元スラグ(乾粉)	30%
還元スラグ(乾粉)16%+石膏4%	計20%
還元スラグ(湿粉)	30%
普通ポルトランドセメント	5%

燥重量に対する改良材の重量比で表すことにした。通常セメントによる土質改良法と比較するため、普通ポルトランドセメント5%添加による試験も行った。

乾粉と湿粉の化学成分は、表2に示す通りである。いずれもCaO、SiO₂、Al₂O₃、MgOが主成分である。

表2 乾粉と湿粉の化学成分(重量%)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
乾粉	53.2	16.2	14.4	8.1
湿粉	43.2	24.6	9.0	13.0

2.2 浚渫土

軟弱土は名古屋港の浚渫土を用いた。表3にその物理特性を示すが、自然含水比が液性限界よりも高く、非常に軟弱な土であることが分かる。

表3 浚渫土の物理特性

自然含水比	52.5%
液性限界	44.7%
塑性限界	28.4%
塑性指数(IP)	16.3

2.3 試験手順

試験手順は図1に示す通りである。混合は約150m³の大きさをもつ専用の混合槽で、軟弱土と改良材を併せて約120m³を混合・攪拌した。攪拌は、写真1に示す攪拌装置付きバックホーで2分/m³攪拌した。

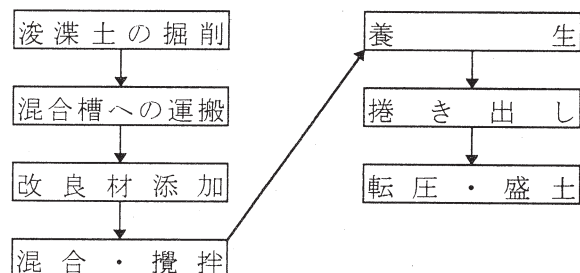


図1 試験手順

*大同工業大学工学部建設工学科研究員(〒457名古屋市中区白水町40)

**大同工業大学工学部建設工学科教授

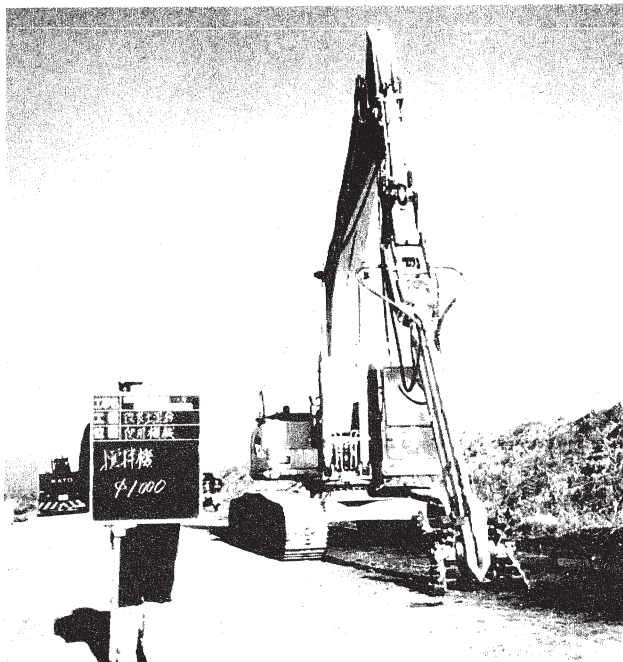


写真1 攪拌装置付きバックホー

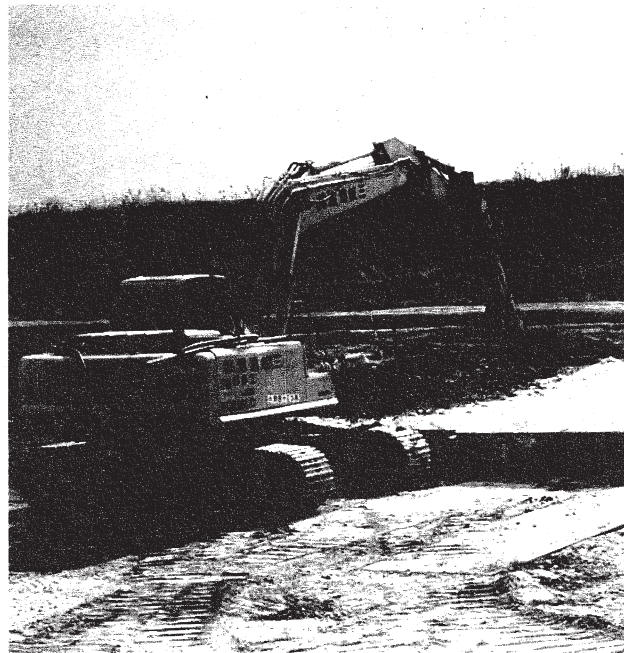


写真2 浚渫土と改良材の混合状況

2. 4 盛土方法

盛土は図2に示す通り、整地された試験ヤードで一層の巻き出し厚 40cm で3層とし、転圧完了面が10m×6mになるようにした。そして転圧途中、転圧完了直後、転圧完了3、7、28日後に一軸圧縮強度、CBR値等の調査およびサンプリングを行った。

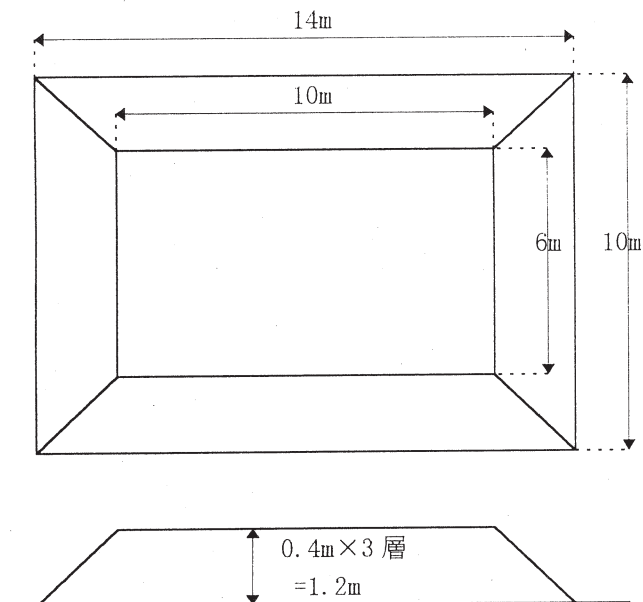


図2 盛土方法

3. 試験結果

3. 1 混合状況

浚渫土と改良材の混合状況を写真2に示す。乾粉還元スラグおよび普通ポルトランドセメントを用

いた場合は、やや粉塵があったが、湿粉還元スラグを用いた場合は粉塵は全く発生せず、作業環境は良好であった。

3. 2 盛土状況

現地試験盛土状況を表4および写真3に示す。改良材として還元スラグ（湿粉）を30%混合した改良土は、浚渫土と混合後、混合槽中で28日間養生後も、転圧盛土用土としては強度が不足しており、転圧が未完であるが、その他の改良土はいずれも問題なく転圧できた。ただし、還元スラグ（乾粉）を30%混合した改良土、還元スラグ（乾粉）+石膏4%を混合した改良土は、混合の不均一による還元スラグまたは石膏のやや大きな塊が見られた。

表4 現地盛土試験状況

改良材	盛土状況	転圧機械
乾粉 20%	盛土可。	湿地ブルドーザー (11ton)
乾粉 30%	盛土可。ただし乾粉の塊あり。	〃
乾粉 16% + 石膏 4%	盛土可。ただし乾粉および石膏の塊あり。	〃
湿粉 30%	28日間養生後、強度不足のため盛土未完。	未完了
普通ポルトランドセメント 5%	盛土可。	湿地ブルドーザー (11ton) + タイヤローラー (8.5ton)

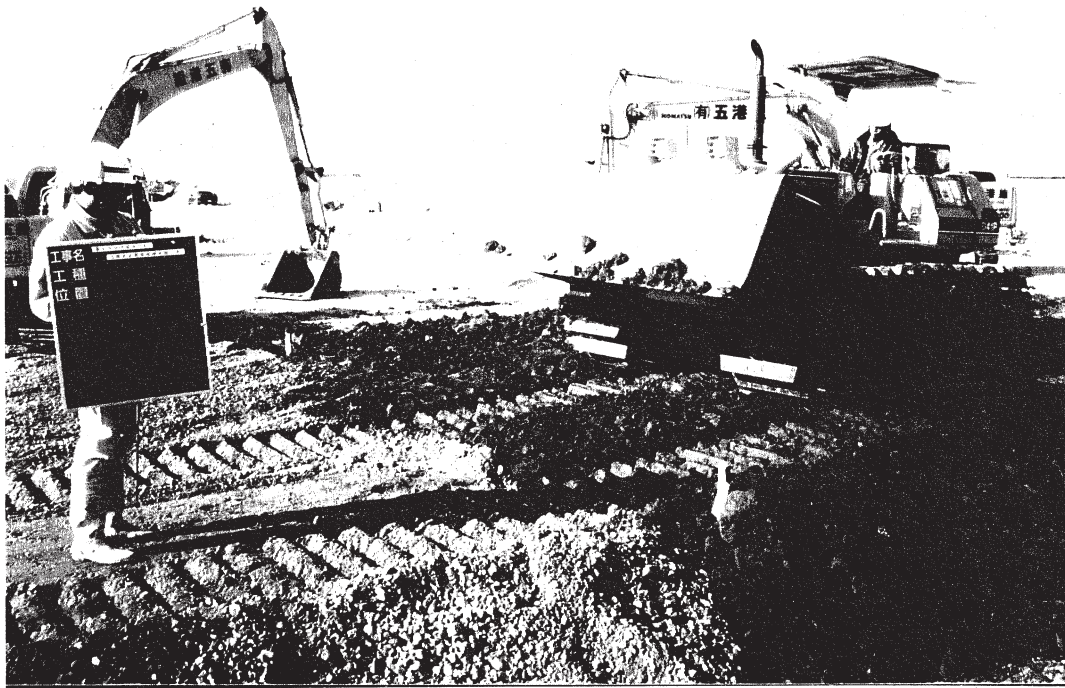


写真3 現地試験転圧盛土状況

3. 3 転圧時の改良土の乾燥密度

最適転圧条件を確認するため、転圧時の改良土の乾燥密度の変化を調査した。その結果の一例を図3に示す。ばらつきがやや大きいですが、転圧回数は6～10回程度で最適転圧状況であったと考えられる。

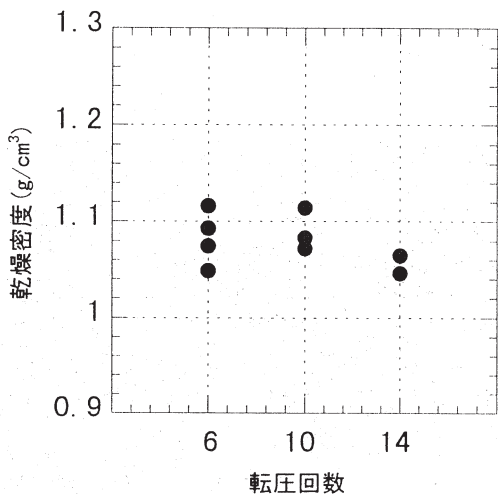


図3 転圧時の改良土の乾燥密度の変化

3. 4 転圧時の盛土高さの変化

転圧時の盛土高さの変化の一例を図4に示す。最初の10回の転圧で、高さ変化の90%以上が完了しており、この結果からも最初の6～10回の転圧でほぼ最適転圧状況であったと考えられる。

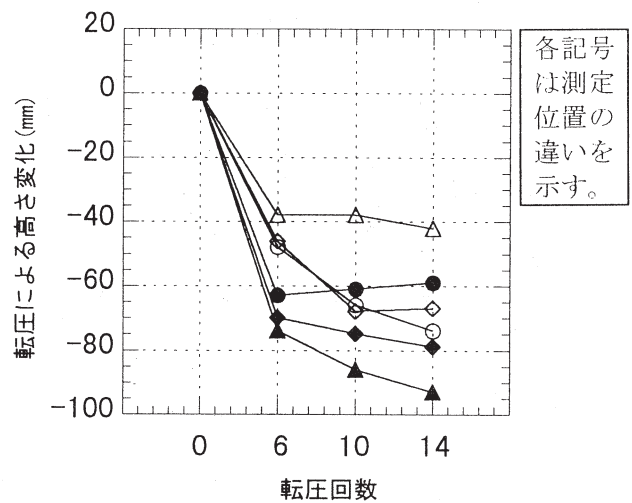


図4 転圧時の盛土高さの変化

3. 5 転圧完了後の盛土の膨張と収縮

転圧完了 47～57 日経過後の盛土高さの変化を各ヤードについて6ヶ所測定し、その平均値とばらつきを表5に示す。乾粉 16%+石膏 4%を添加したヤードは、場所によって膨張部と沈下部があった。しかし、平均の高さ変化はほぼゼロであり、測定位置によるばらつきが大きかった。これは改良材の塊のある部分では膨張し、その他の部分では沈下したと考えられ、塊の発生しないように均一にすることが重要である。その他のヤードでは、いずれも若干の沈下傾

向であった。これは、改良土の含水比の低下によるものと考えられる。

表5 転圧完了47~57日経過後の盛土高さの変化

	乾粉 20%	乾粉 30%	乾粉 16%+石 膏4%	セメン ト5%
経過日数(日)	54	57	50	47
平均(mm)	-14.8	-7.7	0.2	-12.8
ばらつきσ (mm)	7.3	6.2	17.3	2.6

盛土の水平方向の膨張・収縮の調査結果を図5に示す。いずれも膨張・収縮は±10mm以内であった。

記号	改良材	方向	初期値(mm)
○	乾粉 20%	南北	5752
●	〃	東西	4632
□	乾粉 30%	南北	5567
■	〃	東西	4044
◇	乾粉 16%+石膏 4%	南北	5044
◆	〃	東西	4094
△	セメント 5%	南北	5441
▲	〃	東西	3409

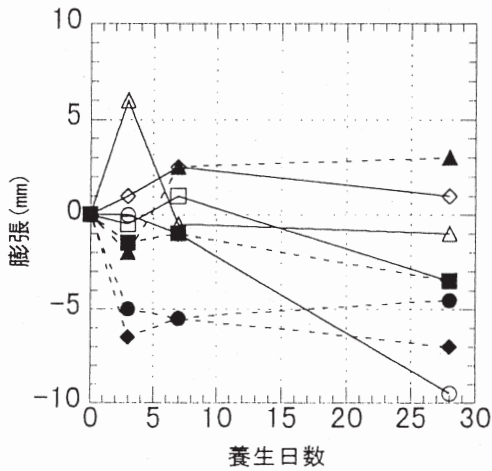


図5 盛土の水平方向の膨張・収縮

3. 6 改良土の蒸気膨張試験結果

転圧直後に採取した改良土の蒸気膨張試験結果を表6に示す。蒸気膨張試験方法は、150mm φ × 125mm の改良土を転圧された状態で採取し、蒸気圧 0.9kg/cm² で10日間放置後の膨張率を調査した。また試料は各改良土について2ヶ所から試料を採取した。乾粉30%混合ヤードから採取したもので、2試料中1試料のみ蒸気膨張率が約6%と高かった。この改良土を蒸気膨張試験後観察したところ、乾粉の大きな塊が混入しており、この結果蒸気膨張率が高くなったと考えられ、このことから塊の発生しない混合方法に課題が残された。その他の改良土はいずれ

も膨張率は0.5%以下で、JIS規格(1.5%以下)を満足していた。

表6 蒸気膨張率 (単位%)

	乾粉 20%	乾粉 30%	乾粉 16% +石膏 4%	セメント 5%
蒸気膨 張率	0.00	6.01	0.06	0.00
	0.11	0.43	-0.01	0.08

3. 7 改良盛土側方の土のpHの調査

改良土はアルカリ性であるため、周辺の土への影響を調査するため、改良盛土側方の土のpHを、深さ20~30cmの地点で調査した。調査結果を図6に示す。14日経過時点では改良土から20cm以上離れるとpHの上昇は認められなかった。pHを調査した場所の91日後の状況を写真4に示す。改良盛土の側方には植物が生育しており、このことから環境への影響は小さいと考えられるが、今後さらに継続的に影響を調査していく予定である。

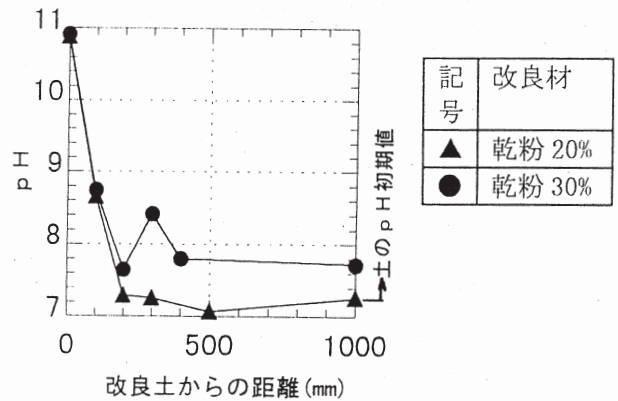


図6 改良土横の土のpH

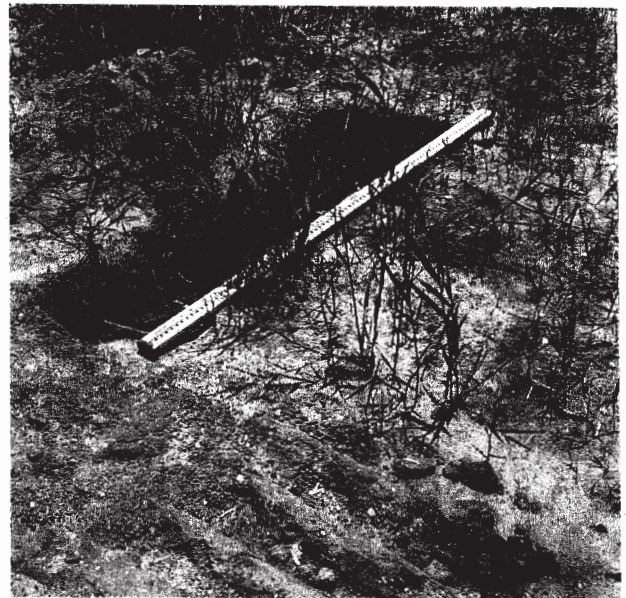


写真4 pH調査状況

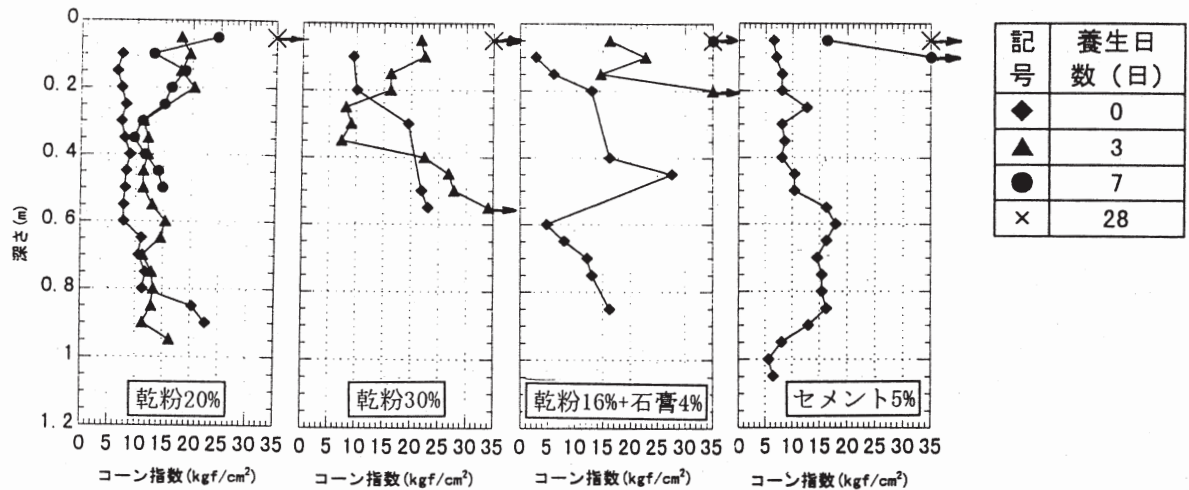


図7 各盛土の一軸圧縮強度と含水比

3.8 盛土のコーン指数

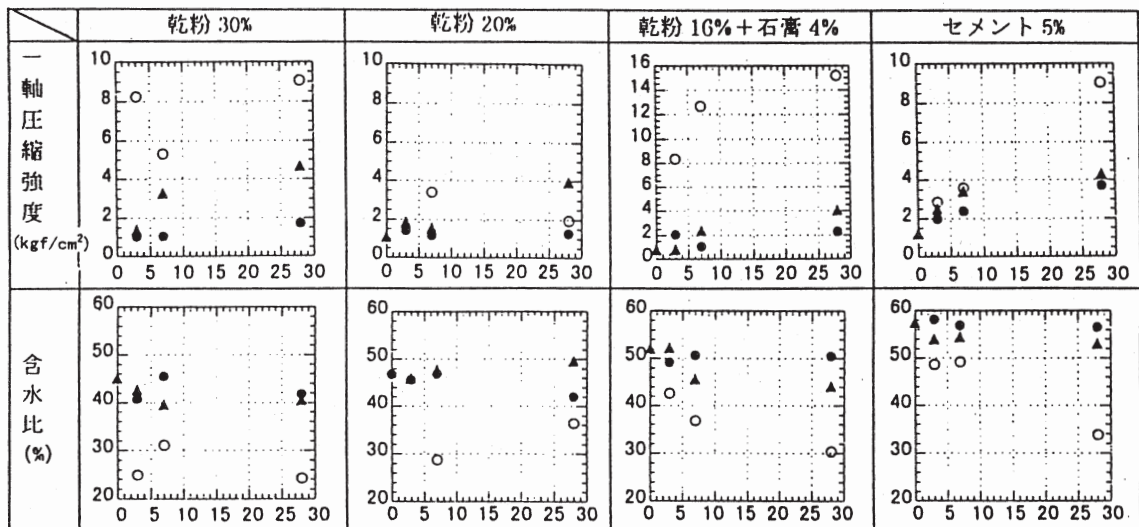
各盛土のコーン指数調査結果を図7に示す。いずれのヤードも養生日数の増加とともにコーン指数は大きくなっており、28日養生後はいずれも調査に用いた測定器による測定可能限界値以上の強度となった。また乾粉30%および乾粉16%+石膏4%を添加したヤードは、深さ方向のコーン指数のばらつきが大きい。これはこれらのヤードでは混合の不均一性による改良材の塊が多く、塊の部分とそれ以外の部分の強度の差があるためと考えられる。

3.9 盛土の一軸圧縮強度と含水比

一軸圧縮強度は、転圧直後にサンプリングし室内養生したものと、所定の養生日数後に現地盛土からサンプリングした供試体について行った。現地試験および室内試験による養生日数と一軸圧縮強度、含水

比の関係を図8に示す。現地試験では養生日数が増加しても、含水比に大きな変化はないにもかかわらず、一軸圧縮強度は増加傾向にある。転圧後現地養生した改良土の方が、室内養生した改良土よりも一軸圧縮強度は高い。還元スラグ(乾粉)20%およびセメントを混合した改良土は現地試験と室内試験の差は最大2.5倍であるが、還元スラグ(乾粉)30%および還元スラグ(乾粉)16%+石膏4%を混合した改良土は、最大12倍の差がある。これは、後者では改良材の一部が塊状となっていたことから、現地試験では改良材と浚渫土が十分に混合されず、土質改良材として機能しなかったものがあつたためと考えられる。

▲	現地試験、現地養生
●	現地試験、室内養生(20℃飽和湿潤養生)
○	室内試験、室内養生(20℃飽和湿潤養生)



(横軸：養生日数)

図8 各盛土の一軸圧縮強度と含水比

3. 10 現場 CBR

養生後の現場 CBR 調査結果を図 9 に示す。乾粉 20%、30% および 乾粉 16%+石膏 4% 添加したいずれのヤードも、セメント 5% 添加したヤードと同等またはそれ以上の強度が得られた。

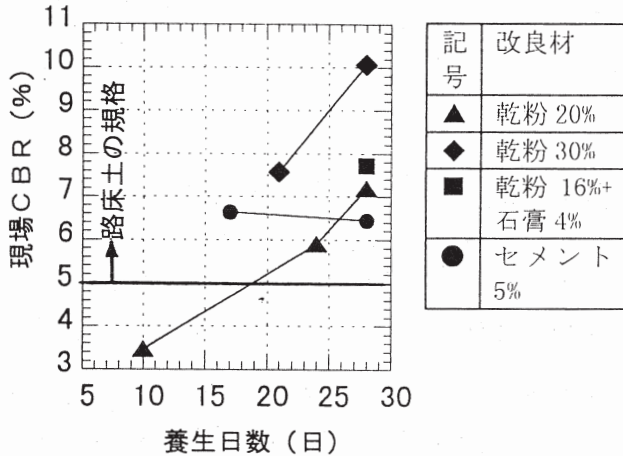


図 9 現場 CBR

3. 11 湿粉による土質改良

湿粉 30% 混合した改良土を混合槽内で養生したときのコーン指数の変化を図 10 に示す。湿粉 30% 混合による改良土については、混合直後は強度が低く、盛土・転圧ができる状態ではなかった。盛土・転圧可能なコーン指数を 4kgf/cm^2 以上とすると、盛土・転圧可能とするための養生に約 60 日を要した。

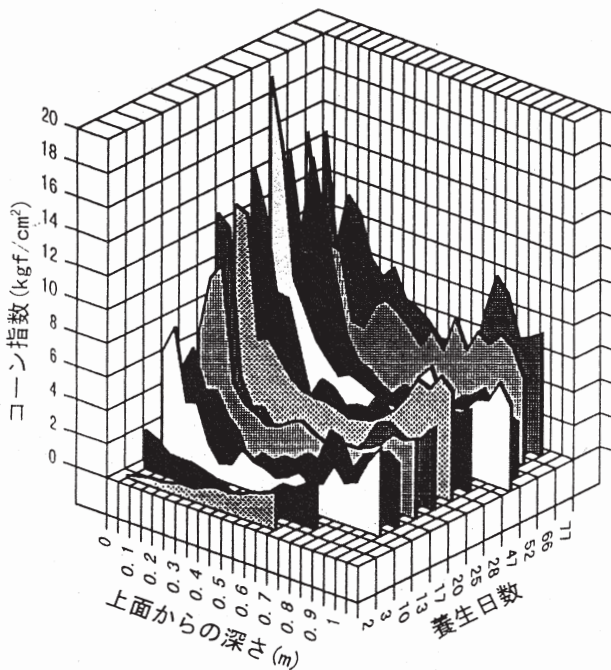


図 10 湿粉 30% 混合による養生日数とコーン指数

4. まとめ

電気炉還元スラグを用いて、超軟弱土に分類される浚渫土の土質を改良し、盛土材料として利用するための土質改良の現地試験を行い、以下の結果が得られた。

(1) 乾粉 20~30% および 乾粉 16%+石膏 4% を土質改良材として浚渫土に混合することにより、盛土・転圧可能な用土とすることができた。これらの盛土は、一般的な軟弱土改良方法であるセメント 5% 添加とほぼ同等の強度をもつことが分かり、セメント代替材として使用できる目途を得た。

(2) 乾粉 30% および 乾粉 16%+石膏 4% を混合した改良土は、混合の不均一性による乾粉および石膏の塊が認められ、強度のばらつきや膨張等の原因となるため、均一に混合する方法を再考する必要がある。

(3) 環境への影響として pH の調査を行ったところ、還元スラグ混合の盛土はアルカリ性であったが、14 日経過後の調査では、これらの改良土から 20cm 離れた部分の土には、pH の変化はみられなかった。

(4) 湿粉 30% を混合した改良土は、盛土可能な目途となるコーン指数 4kgf/cm^2 以上を得るのに、約 60 日間を要した。

5. 謝辞

電気炉還元スラグを用いた土質改良に関する現地試験は、愛知製鋼(株)、(株)大林組、共英製鋼(株)、五洋建設(株)、大同工業大学、大同特殊鋼(株)、中部鋼鉄(株)、鉄鋼スラグ協会、トピー工業(株)、名古屋大学、日本金属工業(株)、山口鋼業(株)の団体による共同研究の一環で行ったものである。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 近藤、宋、後藤、大門：種々の刺激剤による高炉水砕スラグの潜在水硬性、鉄と鋼、Vol. 65、No. 12、pp. 1~5、1979
- 2) スラグの有効利用に関する基礎研究部会：鉄鋼スラグの性質と再利用、鉄と鋼、Vol. 65、No. 12、pp. 127~151、1979
- 3) 飯島、小島、吉村：鉄鋼スラグの道路用材への利用、土木技術資料、Vol. 23、No. 2、pp. 89~94、1981
- 4) 桑山、大東、金川：電気炉還元スラグによる軟弱土の改良、日本材料学会、第 2 回地盤改良シンポジウム、pp. 195~200、1997
- 5) 金川、土屋、青山、桑山：電気炉還元スラグによる軟弱土質改良のメカニズムと土質改良能力評価法、土木学会中部支部平成 8 年度研究発表会講演概要集、pp. 743~744、1997

(1997年5月13日受付 6月10日受理)