

産業副産物微粉末の地盤改良材としての利用について

日大生産工(院) ○横尾 拓 日大生産工 秋葉 正一
日大生産工 加納 陽輔 日大生産工(院) 庄嶋 芳卓

1. はじめに

近年，廃棄物問題などの環境・資源に関する観点から循環型社会の構築に向けた取り組みが進められている．特に産業副産物の有効活用は，天然資源の消費抑制や最終処分場の延命化に繋がることから積極的な取り組みが要請されている．

産業副産物である非鉄金属スラグは，銅・鉛・亜鉛等の金属を精錬する際に副次的に得られる溶融固化物であり，年間約600万t複製されている．非鉄金属スラグの中でも年間約250万t発生しているフェロニッケルスラグ（以下，FNS）はセメントコンクリート，あるいはアスファルト混合物用骨材として標準化が進められつつあるが，微粉末（以下，FNS粉）の多くは有効利用されずストックされている．

一方，九州地方においては，微粉酸化鉄（以下，Fe粉）と消石灰からなるFe石灰が地盤改良材（以下，改良材）として，主に舗装の路床構築に適用されているが，その強度発現性に与える影響は，実績を積み重ねることで立証されてきたものである．経験的に培われたものであり，Fe粉と消石灰の最適な配合比の検討が行われず利用されているなど，Fe粉の及ぼすメカニズムなど解決すべき点が残されている．

そこで本研究では，FNS粉およびFe粉のそれぞれについて，これらの微粉末単体だけでは不足するセメンテーション効果を促すため消石灰を混合し地盤改良材としての有用性を確認するとともに，単体では利用が困難な特殊土に対する改良効果を検討した．

表-1 各試料の密度

	FNS粉	Fe粉	砕砂粉	消石灰	真砂土
密度 (g/cm ³)	3.004	4.100	2.664	2.36	2.655

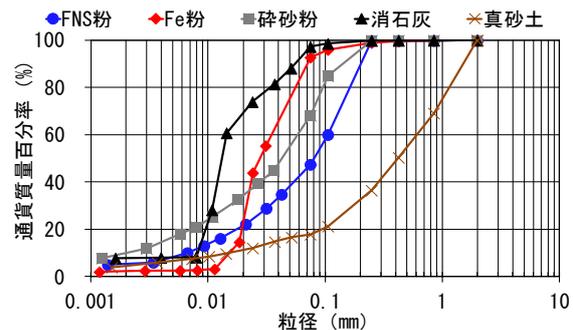


図-1 各試料の粒度

表-2 供試体の作製条件および養生条件

供試体	寸法	φ5×10cm
	締固めエネルギー	約2500kJ/cm ³
養生	温度	20±3°Cの恒温室および恒温水槽
	サイクル	空中養生6日，水中1日
	日数	0日(20h)，7日，28日，91日

2. 研究概要

改良材として FNS 粉と消石灰の混合物（以下，FNS 石灰）と Fe 石灰の改良材としての適用性を確認するため，改良材単体での強度発現性の有無を確認するとともに，西日本を中心に広く分布し，現在 Fe 石灰など多くの改良実績のある特殊土，真砂土（花崗岩風化残積土）に添加した場合の改良効果を検討した．

各試料の物理的性状を土粒子の密度試験（JIS A 1202）および粒度試験（JIS A 1204）より把握した．また強度発現性と改良効果を簡易的に把握するため，一軸圧縮試験（JIS A 1216）より評価した．

本研究で用いた各試料の物理的性状を表-1，図-1 に，供試体の作製および養生条件を表-2 に示す．

表-3 各配合の名称および最適含水比

名称	配合比 (%)				最適含水比 (%)
	FNS粉	Fe粉	砕砂粉	消石灰	
FNS20	20	/	/	80	29.4
FNS40	40	/	/	60	22.3
FNS60	80	/	/	40	17.4
FNS80	60	/	/	20	11.2
Fe20	/	20	/	80	28.4
Fe40	/	40	/	60	26.2
Fe60	/	80	/	40	20.5
Fe80	/	60	/	20	17.4
砕砂20	/	/	20	80	25.5
砕砂40	/	/	40	60	20.3
砕砂60	/	/	80	40	17.5
砕砂80	/	/	60	20	12.8
消石灰	/	/	/	100	38.9

3. 改良材の配合比の検討

FNS粉, Fe粉が消石灰に及ぼす影響を把握するため, 化学的に安定した代換材料, 砂岩微粉末 (砕砂粉) を使用した消石灰との混合物 (以下, 砕砂石灰) に加え, 消石灰単体を用い比較評価を行った。

各配合比の最適含水比を突固めによる土の締固め試験 (JIS A 1210) より求め, 各配合比の最適含水比で供試体を作製, 一軸圧縮試験を行った。次に, 改良材としての有用性を考慮した配合比において, 含水比の増減が強度発現性に及ぼす影響を確認した。

3.1. 最適含水比の強度発現性

各配合比の名称, 最適含水比を表-3 に, 一軸圧縮試験の結果を図-2・3・4 に示す。

図-3・4よりFNS石灰およびFe石灰は0日から7日にかけて, 強度の変化が小さいものの, 28日において, 配合割合に関係なく強度が大きく増加する傾向にある。FNS石灰はFNS40で最も強度が得られ凸型の傾向を示しており, FNS粉をそれ以上増加しても強度増加は見られなかった。一方, Fe石灰はFe粉の配合量が増加するに伴い長期養生後の強度が大きく増加する傾向にある。

図-5より砕砂石灰は0日から7日において強度が低下する傾向にあり, 28日において強度は一部回復する傾向があるものの, 0日に比べ強度増加は確認できなかった。これは, 消石灰単体において0日以降は強度が下がり, 強度が増進し

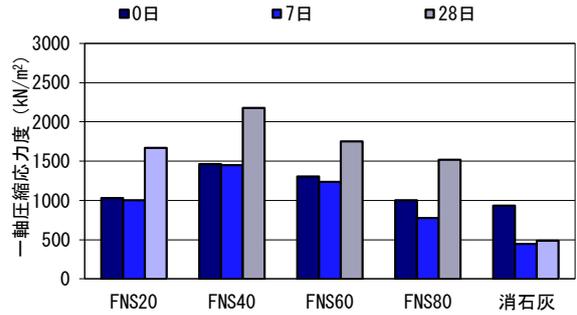


図-2 FNS石灰の最適含水比の一軸圧縮応力度

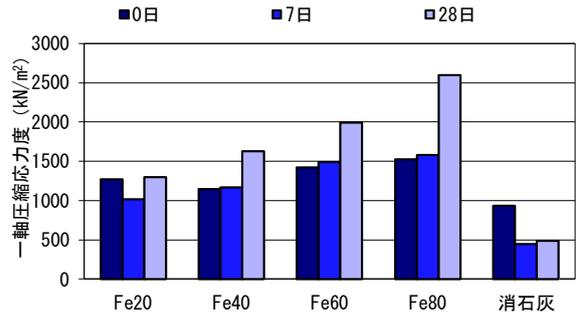


図-3 Fe石灰の最適含水比の一軸圧縮応力度

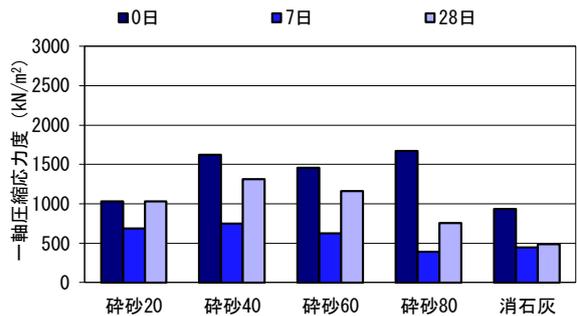


図-4 砕砂石灰の最適含水比の一軸圧縮応力度

にくいことから, 消石灰の影響を大きく受けたためと考えられる。

以上から, 消石灰のみでは長期的な強度増進効果は確認されないものの, FNS石灰は, 短期的には強度発現性が乏しいが, 長期的な強度発現性に優れ, FNS粉と消石灰の強度発現性が大きい最適な配合比が存在していることが示唆された。またFe石灰はFe粉の増加にともない長期的な強度発現効果が大きくなることが確認できた。よってFNS粉, Fe粉は消石灰だけでは発現しない長期的強度増進効果を付与することを確認し, さらにFNS石灰およびFe石灰の改良材単体での強度発現性と改良材としての有効利用の可能性が確認された。

表-4 各配合の名称

最適含水比の増減	名称			
	FNS20	FNS40	Fe20	Fe40
-9%	FNS20-9%	FNS40-9%		
-6%	FNS20-6%	FNS40-6%		
-3%	FNS20-3%	FNS40-3%	Fe20-3%	Fe40-3%
3%	FNS20+3%	FNS40+3%	Fe20+3%	Fe40+3%
6%			Fe20+6%	Fe40+6%

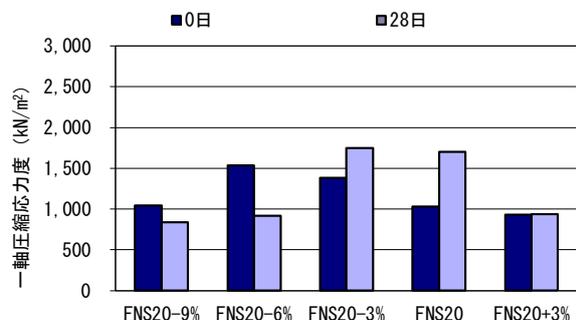


図-5 FNS20の含水比増減による影響

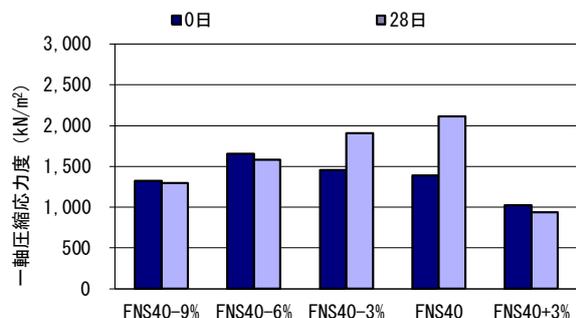


図-6 FNS40の含水比増減による影響

3.2. 含水比の増減による強度発現性

最適含水比での結果と現在使用されているFe石灰の配合比(Fe25%, 消石灰75%)を参考に、FNS20, FNS40 および Fe20, Fe40 を対象に、最適含水比より±3%で含水比を変化させ試験を行い、0日養生で降伏点が確認されるように含水比を3%間隔で変化させ試験を行った。供試体の名称を表-4に、一軸圧縮試験の結果を図-5・6・7・8に示す。なお養生日数は7日後で大きな変化が見られなかったため、0日と28日で比較評価した。

図-5・6より、FNS20, FNS40ともに0日においては-6%の強度が最も高い値を示しているが、28日では強度が低下する傾向にあり、長期的には最適含水比および-3%での強度において高い値を示した。

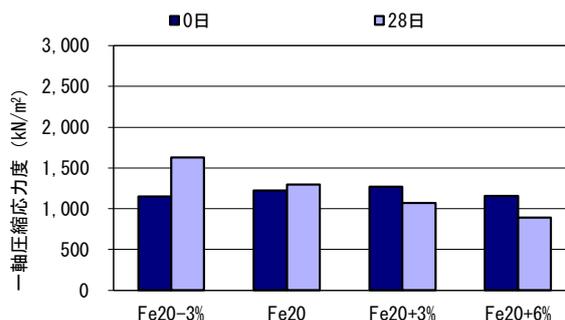


図-7 Fe20の含水比増減による影響

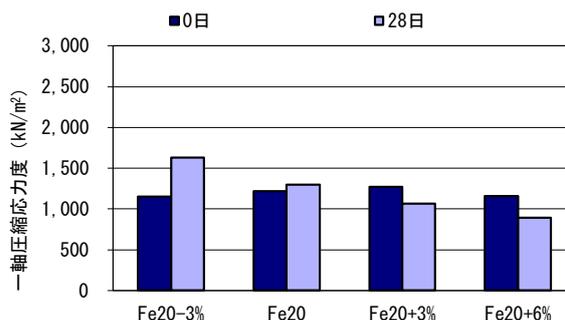


図-8 Fe40の含水比増減による影響

図-7・8よりFe20, Fe40ともに0日では、含水比の増減による大きな強度差は確認されない。28日においては最適含水比より含水比を増加させた場合に強度低下が確認された。一方、最適含水比および-3%では強度増進が確認出来る。

以上から、FNS石灰, Fe石灰ともに強度発現性が最も発揮されるのは最適含水比, -3%であることが確認でき、一定量の含水比増減により強度発現に影響をおよぼすことを確認した。

4. 真砂土に対する改良効果

改良材としてFNS20, FNS40, Fe20, Fe40を用い、真砂土に対する改良効果を評価した。なお比較材料として、消石灰のみを用いたものと真砂土単体についても試験を行った。供試体は真砂土の最適含水比($w_{opt}=10\%$)に合わせて作製し一軸圧縮試験を行った。なお養生日数はより長期での強度発現性を期待して0日, 7日, 28日, 91日で比較評価した。

各供試体の改良材添加率および名称を表-5に、一軸圧縮試験の結果を図-9・10・11・12・13に示す。

表-5 各配合の名称

真砂土 (%)	93	85	70	50	100
改良材添加率 (%)	7	15	30	50	
名称	FNS20	FNS20 (7)	FNS20 (15)	FNS20 (30)	FNS20 (50)
	FNS40	FNS40 (7)	FNS40 (15)	FNS40 (30)	FNS40 (50)
	Fe20	Fe20 (7)	Fe20 (15)	Fe20 (30)	Fe20 (50)
	Fe40	Fe40 (7)	Fe40 (15)	Fe40 (30)	Fe40 (50)
	消石灰	消石灰 (7)	消石灰 (15)	消石灰 (30)	消石灰 (50)
真砂土					真砂土

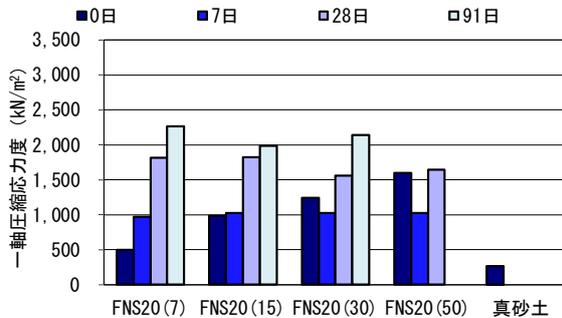


図-9 FNS20の改良効果

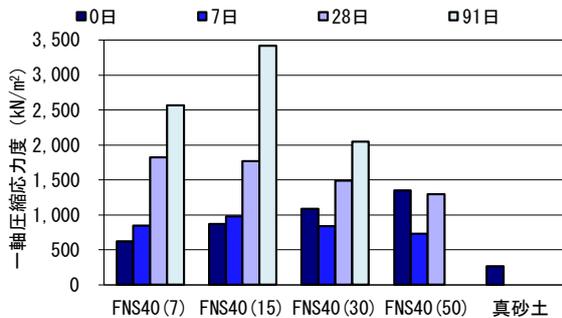


図-10 FNS40の改良効果

図-10・11より0日から7日にかけての短期的な改良効果は、FNS20、FNS40ともに添加率30%を越えた場合強度が低下する傾向にあるものの、少ない添加率である7%、15%において差位はあるが強度が増加する傾向を示しており、28日以上 of 長期的に見ても強度増進が確認でき、特にFNS40(15)では91日においてその傾向が顕著にあらわれている。

図-12・13より、Fe20、Fe40ともに0日から7日にかけて添加率30%以上は強度が低下する傾向にあるものの、長期的な改良効果を見た場合、Fe20(7)、Fe40(15)、Fe40(30)で強度増進が起りやすい傾向を示している。

図-14より、消石灰は添加率7%、15%で短期的な改良効果が確認できるが、長期的な強度増進効果が発現しないことが見て取れる。

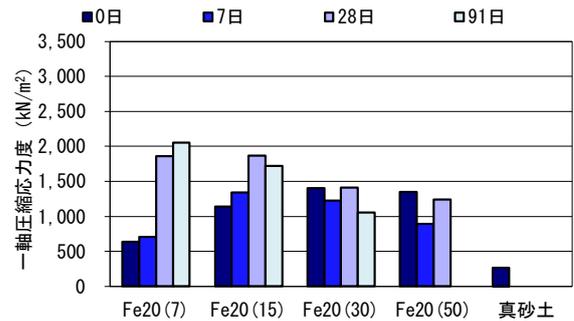


図-11 Fe20の改良効果

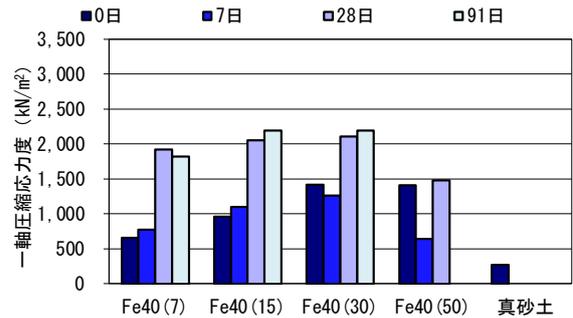


図-12 Fe40の改良効果

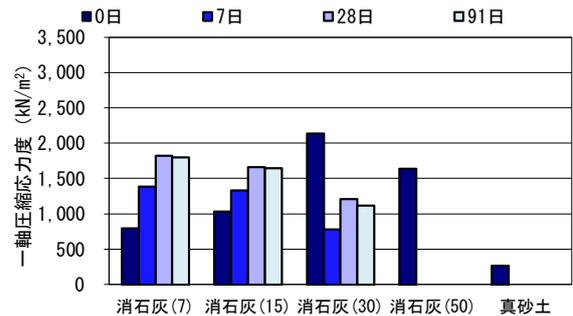


図-13 消石灰の改良効果

以上よりFNS石灰、Fe石灰は短期的な改良効果としては消石灰と同等以下であるものの、一定の改良材を添加することで長期の強度増進効果が期待できることが確認された。

5. まとめ

各実験から得られた知見を以下にまとめる。

- FNS石灰、Fe石灰は消石灰のみでは発現しない長期的な強度発現性があらわれる。
- FNS石灰、Fe石灰は含水比増減によって強度発現性が変化することが確認された。
- 真砂土に対しFNS石灰、Fe石灰の長期での改良効果を確認した。

今後はCBR試験などを行いより具体的な改良効果の確認を考えている。