

水砕スラグ微粉による碎石微粉末の安定処理方法

Soil Stabilization of Crushed Stone Powder by Granulated Blast Furnace Slag Powder

竹下祐二 Yuji TAKESHITA (岡山大学環境理工学部)
 尾島勇次 Yuji OJIMA (岡山県土木部)
 谷本康太 Kota TANIMOTO (岡山大学大学院自然科学研究科)
 成田 豊 Yutaka NARITA (岡山県共同石灰(株))
 田村二郎 Jiro TAMURA (岡山県共同石灰(株))

碎石および砕砂の製造過程において副産される碎石微粉末は、有害物質を含有していないにもかかわらず、その大部分が有効利用されることなく、産業廃棄物として処分されている現状にある。本文では、乾式方法によって回収された碎石微粉末の地盤材料としての有効利用を目的として、水砕スラグ微粉によって安定処理された碎石微粉末の地盤工学特性について室内試験および現地盛土施工実験より評価を行った。その結果、適度なアルカリ刺激剤を添加した水砕スラグ微粉によって安定処理された碎石微粉末は、天然材料の安価な代替材として供給できる可能性を有していることが確認された。

キーワード：土質安定処理，碎石微粉末，水砕スラグ微粉，盛土施工，一軸圧縮強さ，透水性 (IGC:D-10)

1. はじめに

建設工事に必要とされる良質の地盤材料は、需要の増大や環境保全等の問題のために、入手することが困難になってきている。そのため、産業廃棄物や副産物を有効に利用して、天然材料に変わりうる新しい地盤材料を開発することは重要な課題と言える。碎石および砕砂の製造過程において副産される細粒分は碎石微粉末とよばれ、「単粒度碎石などの製造における分級工程より発生する細粒分であり、ごみや有機不純物などを有害量含んではならない。」と定義されている¹⁾。碎石微粉末は、有害な物質を含有していないにもかかわらず、汎用商品として出荷されていない天然材料であり、その大部分が有効利用されることなく、産業廃棄物として処分されている現状にある。近年、碎石の粒度や粒径の高品位化が求められていることから、今後さらなる碎石微粉末の発生量増加が予想されるため、その有効利用方法の開発が強く望まれている。

碎石微粉末の回収方法には乾式方法と湿式方法があり、湿式方法により回収され、脱水処理した碎石微粉末(脱水ケーキ)に対しては、石灰系安定材を添加した安定処理碎石微粉末を路盤材料として利用する試み^{1),2)}がなされているが、乾式方法にて回収された碎石微粉末に関する安定処理方法の検討例は見あたらない。そこで、本文では、乾式方法によって回収された碎石微粉末を安定処理し、地盤材料として有効に利用することを目的として、安定処理材として鉄鋼生産時に副生される高炉水砕スラグを微粉状に加工した材料(以後、水砕スラグ微粉と記す)に着目した。碎石微粉末および水砕スラグ微粉はいずれも有害物質を含まない産業副産物であり、発生場所がやや限定されているものの、その産出量および品質も比較的安定しているため、有価物として利用できるのみならず、天然材料の安価な代替材として供給できる可能性を有して

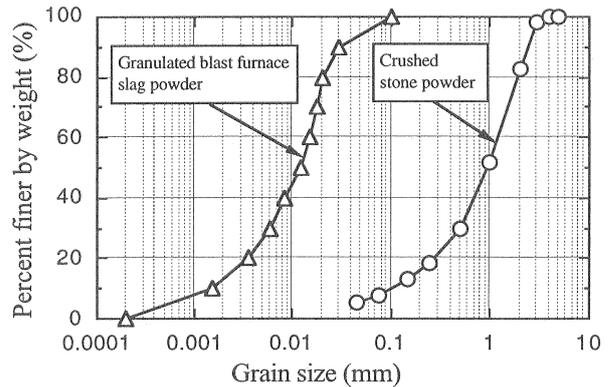


図-1 使用材料の粒径加積曲線

表-1 碎石微粉末の物理特性値

Soil particle density (g/cm ³)	Chemical composition (%)						pH	Water content (%)	Ignition loss (%)
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	others			
2.70	17.27	64.12	0.32	2.82	3.33	12.14	9.0	4~5	4.868

いると言える。水砕スラグ微粉によって安定処理された碎石微粉末の地盤工学的性質は室内土質試験および現地盛土施工実験により吟味した。

2. 使用材料の物理特性

2.1 碎石微粉末

石英斑岩による碎石プラントにおいて乾式分級により副産された最大粒径3mm程度の碎石微粉末を用いた。粒径加積曲線を図-1に、物理特性を表-1示す。粒度組成は礫分17.1%、砂分75.3%、細粒分7.6%で、細粒分まじり礫質砂に分類され、粒径幅の広い材料となっている。

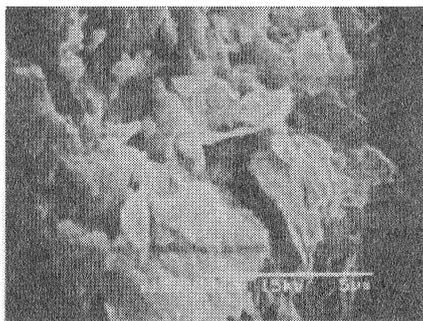


写真-1 砕石微粉末の電子顕微鏡写真(10000倍)

表-2 水砕スラグ微粉の物理特性値

Soil particle density(g/cm ³)	Chemical composition (%)						Basicity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	
2.77	30.9	12.0	44.7	6.8	1.7	1.0	2.05

また、均等係数 11.8、曲率係数 1.9 であり、粒度分布の良い材料であると判断される。化学組成はアルミナ、シリカが大部分を占め、弱アルカリ性を有している。写真-1 に示した電子顕微鏡写真によれば、粒子形状はフレーク状であり、比表面積は 5.13m²/g と大きく、吸水性が高いことから、他の物質との反応性が良い材料であると期待される。なお、比表面積測定はガス吸着法による比表面積装置を用いて、BET 多点法によって実施した。本砕石微粉末はプラント場内に野積み状態でストックされているため、その含水比は降雨等により多少変化するが、ストックヤードでの平均的な含水比は 4～5% と測定された。

2.2 水砕スラグ微粉

水砕スラグ微粉は鉄鋼生産の過程で副産される高炉水砕スラグ³⁾を微粉体化したものであり、現在、主に高炉セメント原料に使用されている。用いた水砕スラグ微粉の比表面積は 1.10 m²/g と計測された。これは微粉体化する前の粒状の水砕スラグに比べて 2 倍程度の値である。そのため、水砕スラグ微粉は粒子の比表面積増大に起因する反応促進やハンドリングの向上などの効果が期待できると考えられる。用いた水砕スラグ微粉の粒径加積曲線を図-1 に、物理特性を表-2 に示す。

水砕スラグは潜在水硬性と呼ばれる特有の固結作用を有していることが知られている³⁾が、水砕スラグを早期に固化させ、強度発現を得るためには石灰などを添加し、適度な反応水の存在と強アルカリ状態を維持する必要性が指摘されている⁴⁾。したがって、水砕スラグ微粉を固化材として用いる場合には、硬化促進剤として適切なアルカリ性材料、たとえば石灰等と混合して用いることが必要であると考えられる。本文では、水砕スラグ微粉に消石灰または生石灰を添加して用い、砕石微粉末の物性改良材としての役割を期待した。

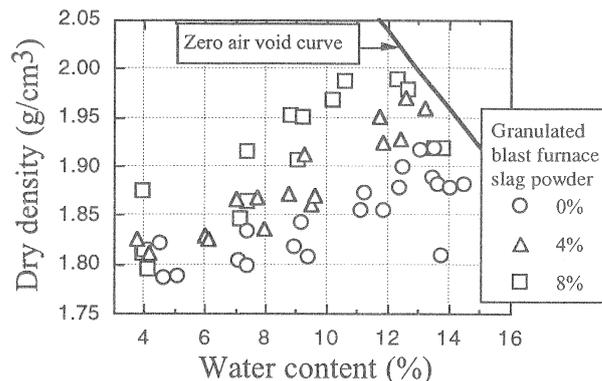


図-2 水砕スラグ微粉を添加した砕石微粉末の締固め曲線

表-3 砕石微粉末の安定処理に用いた材料の配合表

Case	Water content (%)	Crushed stone powder *	Granulated blast furnace slag powder *	Slaked lime *	Dry density (g/cm ³)
A1	5	100			1.416
B1		97	2	1	1.418
C1		95	4	1	1.421
D1		91	8	1	1.431
A2	10	100			1.795
B2		97	2	1	1.808
C2		95	4	1	1.828
D2		91	8	1	1.855

*乾燥重量比%

3. 水砕スラグ微粉により安定処理された砕石微粉末の地盤工学的特性

3.1 締固め特性

砕石微粉末に水砕スラグ微粉を乾燥重量比で 0%、4% および 8% 添加した場合の締固め特性を計測した。試験方法は「セメント系固化材による安定処理土の試験方法」(セメント協会標準試験方法 JCAS L-01-1990)⁵⁾に基づき、突固めによる締固め試験(1.5kg ランマー、直径 5cm × 高さ 10cm、1 層目 10 回、2、3 層目各 20 回、4 層目 40 回、乾燥法、非繰返し法)を行った。

試験結果を図-2 に示す。明確な最適含水比の値は得られていないが、各試料とも 12～14% 付近にあると推定される。また、水砕スラグ微粉の添加量に依存して乾燥密度が増加している。この理由は水砕スラグ微粉が砕石微粉末の間隙を充填したためと思われる。よって、水砕スラグ微粉を添加することにより、砕石微粉末の締固め特性を改善できると思われる。

3.2 一軸圧縮強さ

砕石微粉末に水砕スラグ微粉および水砕スラグ微粉の硬化促進材としての消石灰を表-3 に示す 4 種類の配合率にて、2 種類の初期含水比により混合した材料を作成し、砕石微粉末の安定処理効果を検証した。なお、各材料の混合処理作業では、水砕スラグ微粉と消石灰とは事前に混合した後に砕石微粉末に所定量を添加した。その後、所定

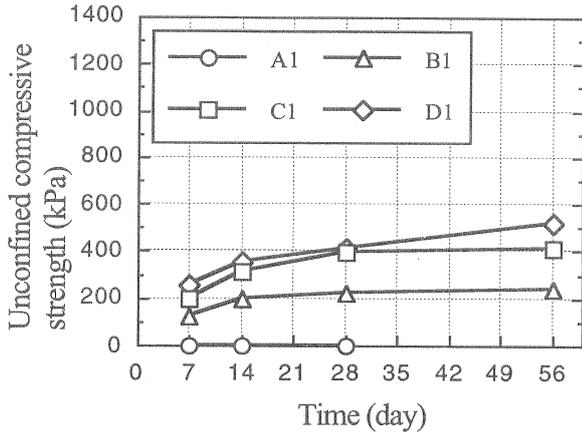


図-3 水砕スラグ微粉で安定処理された碎石微粉末の一軸圧縮強さの経時変化 (初期含水比 5%)

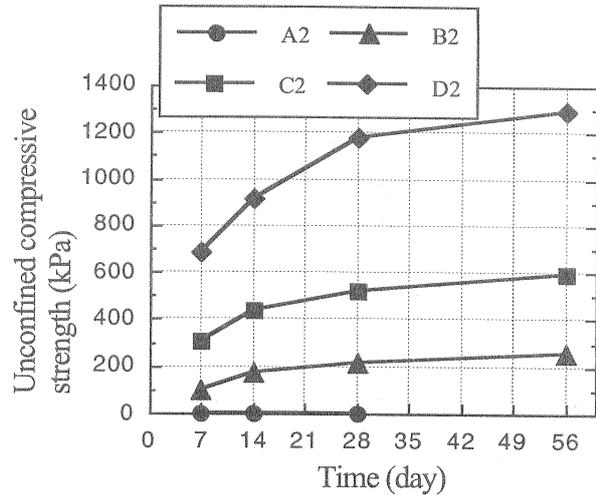


図-4 水砕スラグ微粉で安定処理された碎石微粉末の一軸圧縮強さの経時変化 (初期含水比 10%)

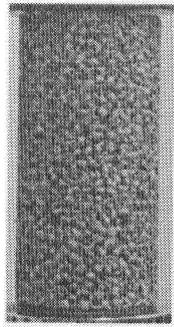


写真-2 水砕スラグ微粉で安定処理された碎石微粉末の供試体状況 (材料C2)

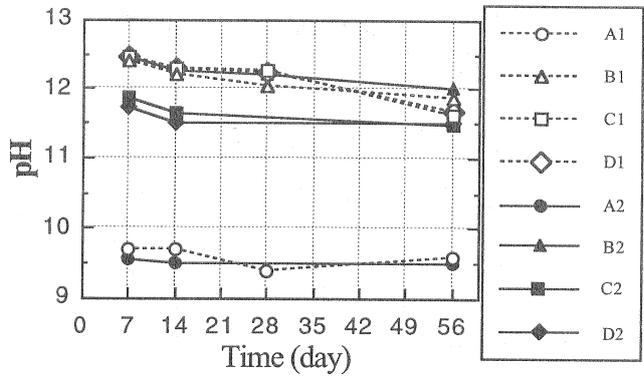


図-5 水砕スラグ微粉で安定処理された碎石微粉末のpHの経時変化

の含水比になるようにイオン交換精製水を所定量加え、電動ミキサーを用いて5分間混合した。

一軸圧縮試験のための供試体は、普通ブルドーザの接地圧および4m～6mの盛土荷重を想定して、鉛直応力98.1kPaによる静的締固めにより、直径5cm、高さ10cmの供試体を作製し、最大で56日間の室内気中養生(15±2℃、湿度80%)を行った。各供試体の平均的な乾燥密度を表-3に併記した。

一軸圧縮強さの経時変化を図-3, 4に示す。いずれの試料も水砕スラグ微粉添加率に応じた強度発現が認められる。ただし、初期含水比5%の場合、材料C1とD1では強度発現の差が小さい。これは、水砕スラグ微粉の水和反応のための反応水が不十分であるためと考えられる。一方、初期含水比10%の試料では、水砕スラグ微粉の添加率に依存した安定した強度発現が見られる。特に、材料7日以後も強度が増加しており、十分な反応水により水砕スラグ微粉の潜在水硬性が発揮されたものと思われる。したがって、水砕スラグ微粉による安定処理効果を促進させるためには、10%程度の含水比を維持することが望ましいと言える。写真-2に材料C2の供試体写真を示す。このように供試体作成時の混合過程で材料が粒状化し、養生後もその形状を維持していた。これは水砕スラグがカルシウムシリケート系の水和物を生成し、団粒化した

粒子自身を固化するとともに粒子間を拘束したポーラス状の構造となっているためであると考えられる。

3.3 pH

一軸圧縮試験終了後の供試体片を用いてpH値の測定を行った結果を図-5に示す。水砕スラグ微粉を添加した試料では、pH値は11.5～12.5程度に上昇しており、水砕スラグ微粉が潜在水硬性を発揮する上で十分な強アルカリ状態であると思われる。この強アルカリ状態は地盤環境への影響が懸念されるが、路盤材、路床材など適切な用途選択や覆土などの施工上の注意を払うことにより、地盤材料としての利用は十分に可能であると思われる。

3.4 透水性

表-3に示す材料C2とD2について、養生期間が1, 28, 56日の供試体に対してJIS A 1218「土の透水試験方法」に基づき、変水位透水試験を行った。供試体の飽和処理は水浸脱気法によって行い、浸透水には脱気した水道水を用いた。表-4に計測された透水係数と供試体の間隙比を示す。透水係数はいずれの供試体も $6 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \sim 7 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の値であり、水砕スラグ微粉の添加量や養生期間の差違による透水係数の変化は認められず、排水性の良い材料であることが確認された。

表-4 水砕スラグ微粉で安定処理された
砕石微粉末の透水係数

Case	Time (day)	Void ratio	Saturated hydraulic conductivity (cm/s)
C2	1	0.89	6.07E-02
	28	0.90	6.99E-02
	56	0.90	5.83E-02
D2	1	0.87	6.39E-02
	28	0.87	7.07E-02
	56	0.87	6.95E-02

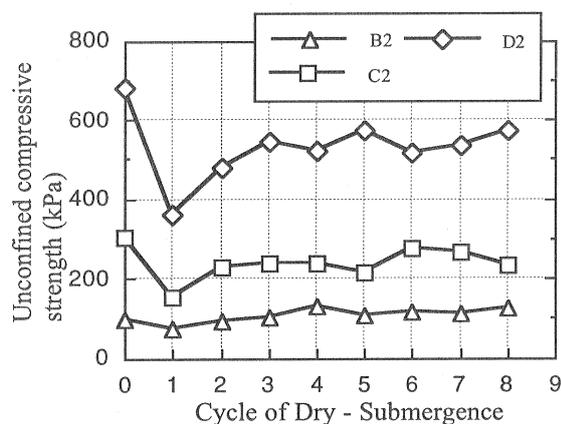


図-7 乾湿繰り返し試験における一軸圧縮強さの変化

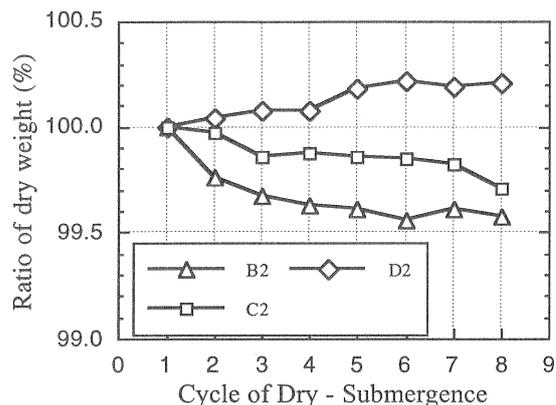


図-6 乾湿繰り返し試験における乾燥重量の変化

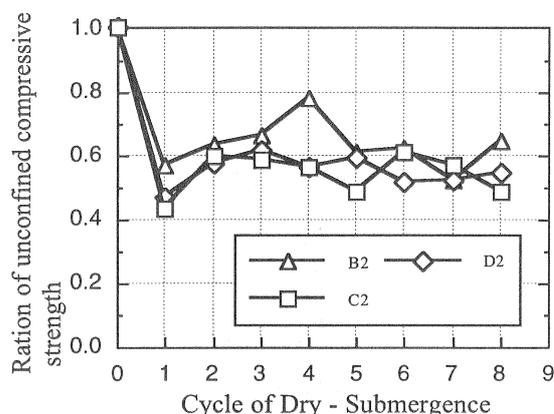


図-8 乾湿繰り返し試験試料と気中養生試料における一軸圧縮強さの比較

3.5 乾湿繰り返し試験

本砕石微粉末の問題点として、降雨浸透などによって流動しやすいことが挙げられる。そこで、水砕スラグ微粉で安定処理された砕石微粉末が乾燥・湿潤を繰り返した場合の強度低下、細粒化状況を把握するために、乾湿繰り返し試験を行った。試験は表-3に示したB2,C2,D2の3種類の試料について実施し、いずれも7日間気中養生を行った供試体を用いた。試験方法の概略を以下に示す。

① 110℃の定温乾燥炉にて24時間供試体を乾燥させ、乾燥重量を測定する。

② 水道水を入れた水槽内中に供試体を24時間水浸させた後に取り出して、2分間の自然排水による水切りをおこなった後、湿潤重量を計測する。ただし、試験中は水槽内の水の入替えは行わない。①、②の手順を1サイクル(48時間)の乾燥・湿潤とする。

③ 7日間気中養生した供試体をサイクル0として、最大8サイクル(16日間)の乾燥・湿潤を繰り返し、所定のサイクル終了毎に一軸圧縮試験およびpH値の測定を行う。

図-6に乾燥重量の変化を示す。縦軸はサイクル開始時の乾燥重量を基準に、各サイクル後の乾燥重量の比を示した。各試料とも乾燥重量の低下はほとんど見られず、乾湿の繰り返しによる供試体の崩壊現象は確認されなかった。水砕スラグ微粉を2%添加した材料B2にやや崩壊の傾向は見られるものの、8サイクル経過後において0.4%

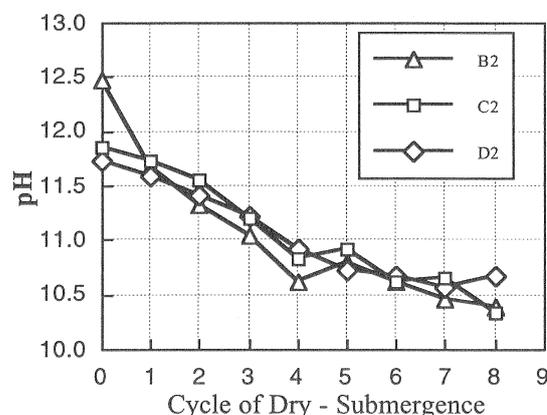


図-9 乾湿繰り返し試験におけるpHの変化

程度の減少であった。

図-7に各供試体の一軸圧縮強さを示す。乾湿の繰り返しサイクルが進むとともに材令も進むことを考慮し、同じ期間の気中養生を行った供試体との比として表したものを図-8に示した。各材料はいずれも1サイクル終了後に大きく強度が低下し、その後やや強度が増加し、ほぼ一定となって、8サイクル経過後までは強度が再度大きく低下する傾向は見られなかった。一方、水砕スラグ微粉の添加率が大きいほど、1サイクル目における強度の低下が著しい。これは使用した供試体が7日間の気中養生後の試料であり、水砕スラグ微粉による硬化現象が生じている期

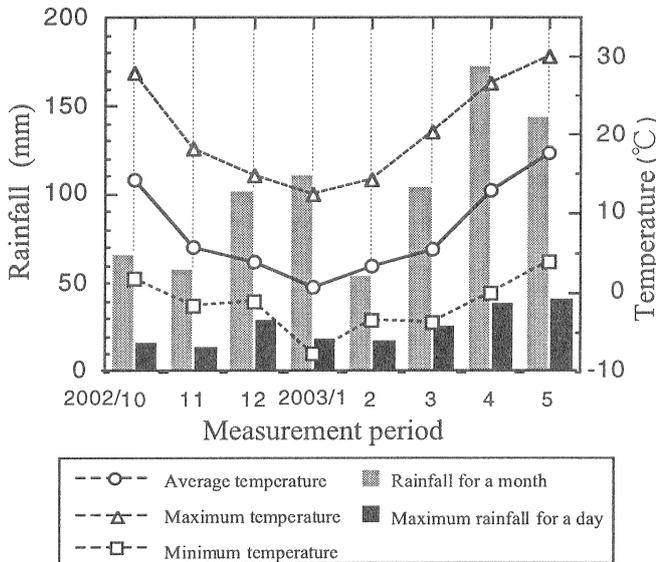


図-10 盛土施工実験期間における施工地域の降水量および気温

表-5 盛土施工実験に用いた材料の配合表

No.	Crushed stone powder (t)	Granulated Blast Furnace slag powder (kg)	Quick lime (kg)	Dry density (g/cm ³)	Void ratio	Water content (%)
0	10			1.51	0.78	4.6
1	10	500	20	1.51	0.78	5.7
2	10	1000	40	1.61	0.68	6.8

間であることによると思われる。

図-9にpH値の変化を示す。pH値は水砕スラグ微粉の添加率に依存せずにサイクル数の増加とともに低下し、8サイクル後では、10.5前後の値となっている。これは碎石微粉末が透水性の良い材料であることから、水浸によりアルカリ成分が希釈された影響であると思われる。図-5に示すように気中養生試料のpH値がほぼ12前後であり、水砕スラグ微粉の化学反応にアルカリ雰囲気が大きく影響していることから、図-8に示した乾湿繰り返し試料の一軸圧縮強さが気中養生試料の50～60%程度である一因は、pH値の低下によるものと考えられる。

4. 盛土施工実験

4.1 試験概要

水砕スラグ微粉によって安定処理された碎石微粉末の盛土材料としての有用性および施工性を検討するために、碎石工場にて盛土施工実験を行った。施工された盛土の地盤工学的特性の評価としては、強度および透水性に関する原位置試験に加えて、原位置にて採取した供試体を用いた室内試験により行った。試験実施期間は平成14年10月から平成15年5月までの約7ヶ月間である。期間中の施工現場地域の平均気温および降水量のデータを気象庁のデータ⁹⁾より、図-10に示す。

水砕スラグ微粉の硬化促進材には、消石灰よりも現地

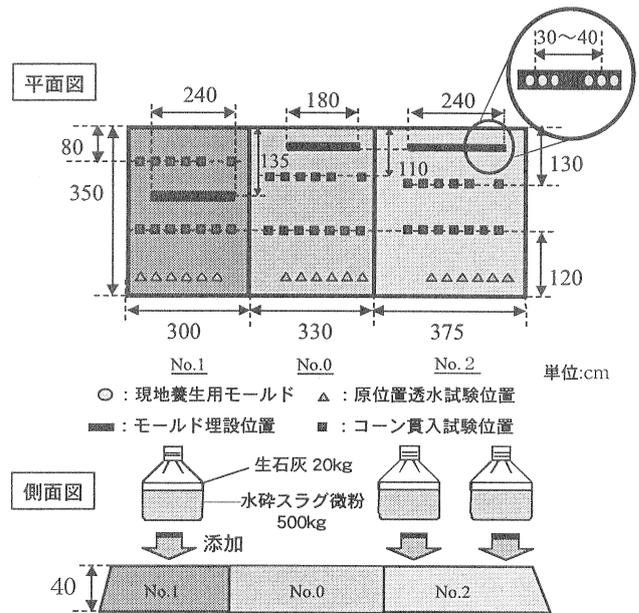


図-11 盛土施工の概要図

での混合や攪拌特性に優れている生石灰を用いた。表-5に示す盛土の配合および初期物性値により、3種類の盛土を施工した。ここで、水砕スラグ微粉末の添加率は、前述の室内試験データを参考に施工性をも考慮して、乾燥重量比で5%および10%とし、碎石微粉末の含水比は自然堆積状態として、特別な含水比管理は行っていない。

4.2 盛土施工方法

本実験における盛土施工の特徴を以下に示す。

- ① 碎石微粉末は碎石プラント内に堆積していたものを使用し、水砕スラグ微粉と生石灰はあらかじめ石灰工場において混合・袋詰めしたものを搬入した。
- ② 碎石微粉末と水砕スラグ微粉と生石灰の混合・攪拌はバックホーおよびショベルドーザーを用いて原位置にて実施し、転圧・締固めはバックホーを用いた。ただし、盛土表面および法面の成形・仕上げは手作業による。
- ③ 密度試験用サンプラーを用いて、各盛土の湿潤密度を測定し、同一密度にて、盛土材料をプラスチック製のモールド（直径5cm×高さ10cm）に締固める。これらのモールドを各盛土の表面から約10cmの深度に埋設し、原位置養生の供試体とする。
- ④ 盛土施工後28日間は、養生環境を安定させるために、盛土表面をビニールシートにて覆う。
- ⑤ 原位置での強度および透水性の計測は施工直後、および施工後7, 14, 21, 28, 56, 104, 203日に行った。図-11に盛土の概略図および各種試験地点を示す。

4.3 盛土の強度特性

盛土の強度特性の評価には地盤工学会基準「簡易動的コーン貫入試験方法」(JGS 1433-1995)⁷⁾を用いた。試験装置の概略図を図-12に示す。強度指標として次式で定義される N_d 値を用いた。

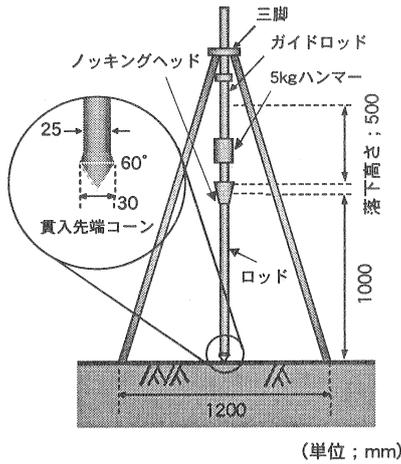
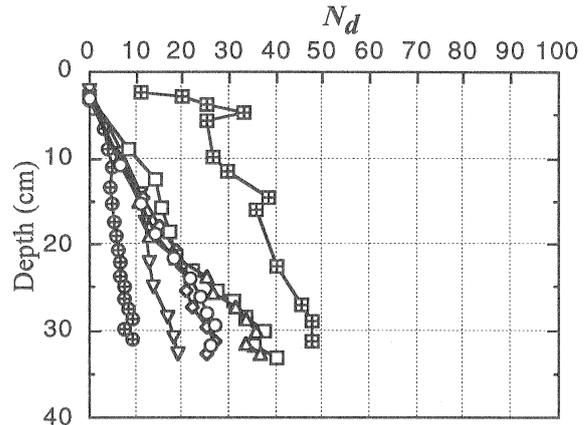


図-12 簡易動的コーン貫入試験装置概要図



(a) 盛土No.0

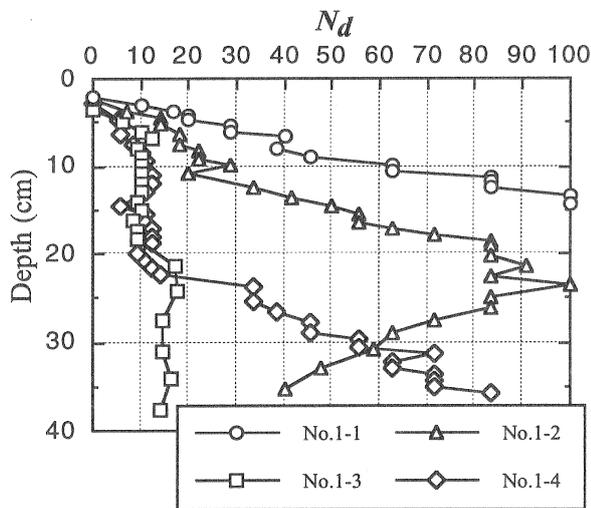
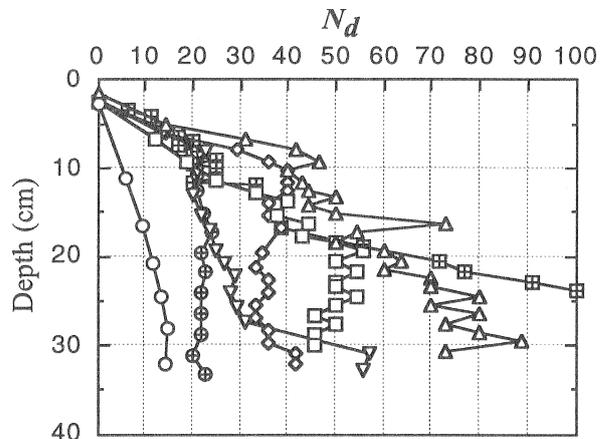


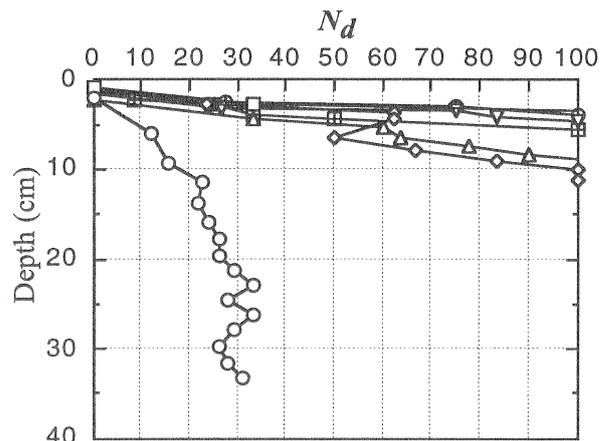
図-14 盛土No.1における N_d のばらつき(施工後104日)



(b) 盛土No.1

$$N_d = \frac{10N}{\Delta h} \quad (1)$$

ここで、 N : ハンマーの打撃回数、 Δh : コーン貫入量
 N_d 値の計測結果を図-13にまとめた。まず、図-13(a)
 と(b)を比較すると、盛土No.1の N_d 値は安定処理を行っ
 ていない盛土No.0を上回る値が全体的に計測されている
 が、計測地点によっては盛土No.0と同程度の値も見られ
 るなど、強度発現に多少のばらつきが見られた。これは、
 盛土施工時の混合および転圧が不十分であったことに起
 因するものと思われる。図-14は施工104日後の盛土
 No.1にて、約 1m^2 の範囲内の4地点にて N_d 値を計測し
 比較した図であり、盛土内の強度特性が不均質であるこ
 とが認められる。したがって、今回の盛土No.1の配合条
 件では碎石微粉末の安定処理施工が十分に行えず、安定
 した強度発現を得ることは困難であると判断される。一
 方、盛土No.2では、図-13(c)に示すように施工後7日以
 降で安定した強度発現が計測されており、安定処理効果
 が確認された。これより、水砕スラグ微粉末の添加量は、約
 10%程度とすることが碎石微粉末の安定処理上、望ま
 しいと判断される。



(c) 盛土No.2

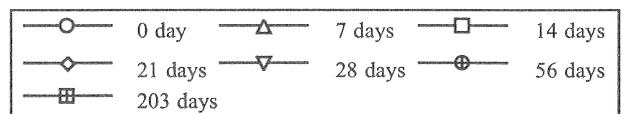


図-13 N_d 値の比較

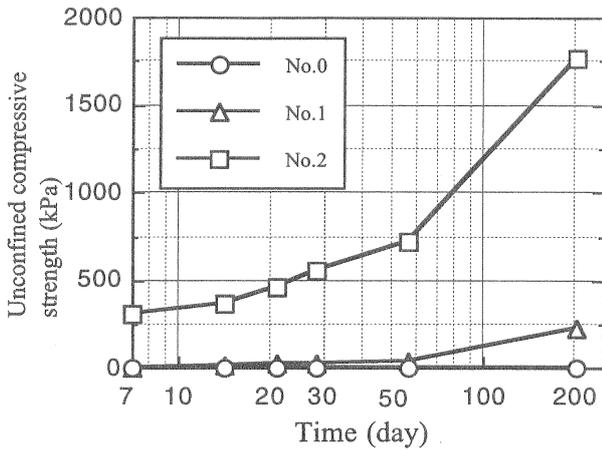


図-15 盛土内で養生した供試体における一軸圧縮強さの経時変化

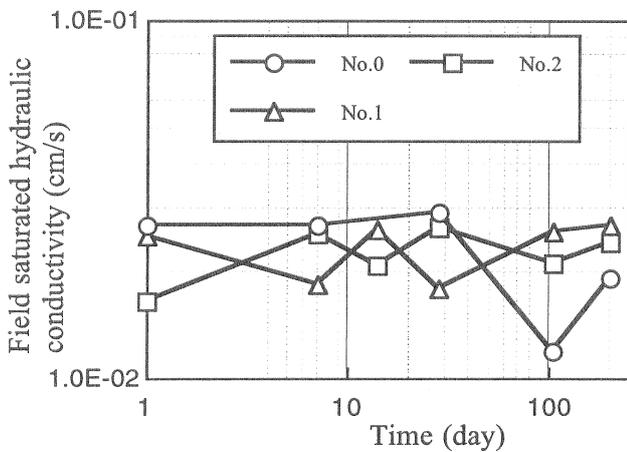


図-17 原位置飽和透水係数の経時変化

盛土施工時に盛土内に埋設しておいた試料モールドを所定の養生日数毎に掘削して回収し、室内試験室にて一軸圧縮試験を行った。図-15に一軸圧縮強さの経時変化を示す。盛土No.2から採取した供試体は施工7日後にて、既に200kPaを超える強度を発現し、その後も安定した強度発現を得ている。この傾向は前節3.2に示した試験結果と同様である。盛土No.0から採取した供試体は著しく一軸圧縮強さが小さく、供試体が自立しないケースが多かった。盛土No.1から得た供試体は養生日数につれ強度が増加する傾向は見られるものの56日養生までの供試体では50kPaに達することはなく、盛土No.2の供試体に比較して低強度であり、強度発現速度も遅い。この理由として、盛土No.1では施工時の転圧量がやや不足していたために、他の盛土に比較して施工密度が不均一であり、コアサンプル作成時に盛土の密度を過少に評価したためと考えられる。

4.4 盛土の透水性

盛土の透水性を評価するために、原位置で飽和透水係数を測定した。試験方法としては、ウェルパーミアメータ法 (Well Permeameter method)⁹⁾を採用した。この試験方法は図-16に示すように直径6cm、深さ10cm程度のオーガ孔より地盤に一定水位にて浸透を行い、計測さ

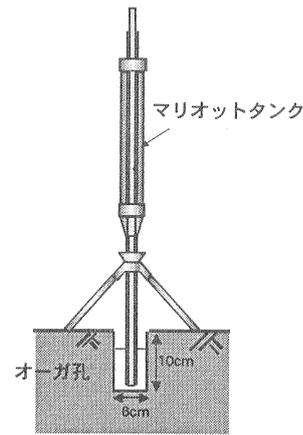


図-16 ウェルパーミアメータ試験装置概要図

れた定常浸透流量から現場飽和透水係数 K_{fs} を算定する方法であり、試験手順が非常に簡便で、迅速に透水係数を算定することができるという特徴を有している。ここで、現場飽和透水係数とは、不飽和地盤の間隙中に取り込まれた空気の影響により、完全な飽和状態ではないが、それに近い状態である透水係数 (Field-saturated hydraulic conductivity) を意味する。現場飽和透水係数の算出には次式を用いた。

$$K_{fs} = \frac{\alpha^* C Q_s}{2\pi H (\alpha^* H + 1) + C \alpha^* \pi a^2} \quad (2)$$

ここに、 Q_s : 定常浸透流量(cm^3/s)、 H : 孔内水位(cm)、 a : 試験孔の半径(cm)、 C : H/a の値と土質状態から決定される無次元の定数、 α^* : 土壌の組織や構造によって決定するパラメータ

本試験では孔内水位を2~4cmに設定し、土壤パラメータ α^* の値には盛土を砂質土地盤と判断して、文献を参考に 0.12cm^{-1} を用いた⁹⁾。図-17に透水係数の測定結果を示す。全ての盛土において $1 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ 程度と非常に良好であり、養生日数による透水係数の変化も認められない。したがって、水砕スラグ微粉による安定処理による透水性の影響はないと判断される。

以上の結果から、水砕スラグ微粉によって安定処理された砕石微粉末の用途としては、路盤材、盛土材、地盤掘削工事における裏込材料や地下空洞部の充填補修材料など広範囲の土木工事への適用が期待される。

4.5 pHの計測

施工直後の盛土表面でのpH値の測定結果は盛土No.0が9.8、盛土No.1で11.3、盛土No.2では11.7であった。図-18に各盛土内部(地表面から10cm程度)におけるpH値の経時変化、図-19に盛土内のpH値の深度分布を示す。pH値は盛土No.2が最も高く、水砕スラグ微粉の添加率に依存した傾向を得ている。これは、水砕スラグ微粉に添加された生石灰の量による影響であると思われる。また、深さ方向のpH値の深度分布については、地表面近傍ではpH値は低下する傾向が認められ、いずれの盛土に

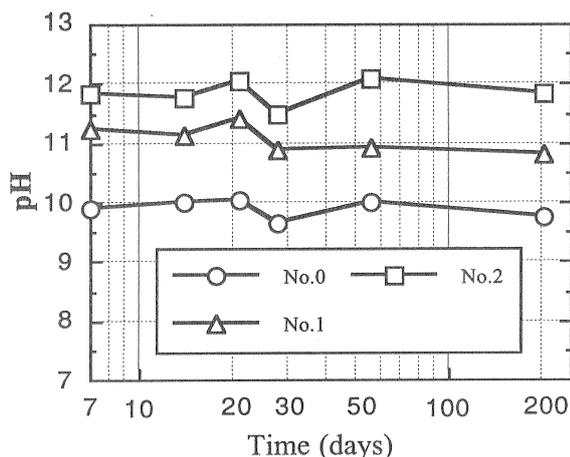


図-18 盛土表層部におけるpHの経時変化

おいても地表面のpH値は10程度である。これは雨水浸透により、地表面近傍のアルカリ雰囲気失われる(中性化)ことによると思われる。この現象は盛土内部では顕著ではなく、盛土No.2について地表面から10cmの地点では改良初期と同程度のアルカリ性を呈している。一方、盛土No.1では中性化の影響が深さ20cm程度まで及んでおり、このような中性化の影響深さは、初期pH状態や雨水の浸透深さに依存していると考えられる。

5. 結論

本文では、天然材料の枯渇問題または産業副産物の処理問題を鑑みて、碎石および砕砂の製造過程において副産され、乾式方法にて回収された碎石微粉末を安定処理し、地盤工学的に有効利用することを目的として、水砕スラグ微粉による安定処理を試みた。安定処理された碎石微粉末の地盤工学的性質は室内土質試験および現地盛土施工実験により吟味した。その結果、碎石微粉末の安定処理には適度なアルカリ刺激剤を添加した水砕スラグ微粉が有効であることを確認した。本文で得られた知見を以下にまとめる。

(1) 碎石微粉末に水砕スラグ微粉を添加することにより、碎石微粉末の間隙が充填され、締固め特性を改善することができる。また、水砕スラグ微粉の潜在水硬性により、添加量に応じた強度発現が得られる。ただし、乾湿の繰り返し条件下においては、気中養生状態に比較して強度が1/2程度まで低下する可能性がある。

(2) 水砕スラグ微粉による碎石微粉末の安定処理効果を促進するためには、消石灰などの適度なアルカリ刺激剤の添加および含水比10%程度の反応水が必要である。

(3) 水砕スラグ微粉で安定処理された碎石微粉末の透水性は良好で、透水係数は 10^{-2} cm/sオーダーであり、水砕スラグ微粉の添加量に依存せず、経時的な変化も小さい。

(4) 水砕スラグ微粉を乾燥重量比で10%程度添加した碎石微粉末を用いて盛土施工を行った結果、十分な強度発現が得られた。

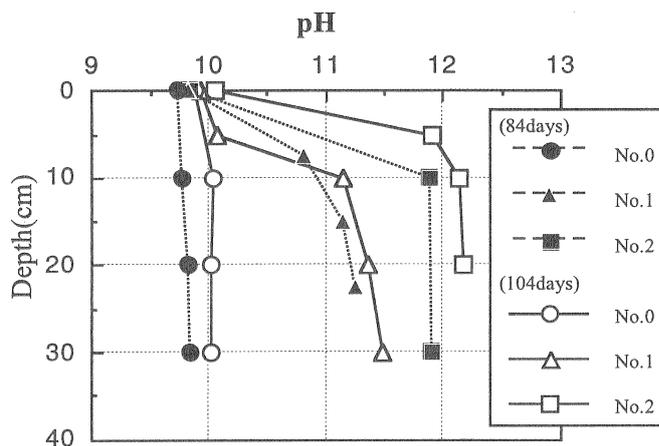


図-19 盛土内部におけるpHの深度分布

(5) 碎石微粉末および水砕スラグ微粉はいずれも有害な物質を含まない産業副産物であり、発生場所がやや限定されるものの、産出量および品質は比較的安定している。そのため、有価物としての利用や天然材料の安価な代替材として供給できる可能性を有しており、路盤材、盛土材、地盤掘削工事における裏込材料や地下空洞部の充填補修材料など広範囲の土木工事への利用が期待される。

謝辞

本研究の実施に際し、(財)八雲環境科学振興財団より平成14年度環境研究助成金の交付を受けました。また、原位置透水試験の実施に際しては、岡山大学大学院自然科学研究科博士前期課程山下正博君の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (社)日本碎石協会：水硬性複合路盤材(材料規格・製造マニュアル・配合設計方法), p37, 1999.
- 日本石灰協会：石灰安定処理碎石微粉末の利用技術-土工・路盤材料としての利用技術に関する手引き-, 2003.
- 鉄鋼スラグ協会：資料「土工用水砕スラグ」, 1998.
- (財)沿岸開発技術研究センター編：港湾工事用水砕スラグ利用手引書, 鉄鋼スラグ協会, pp.1-6, 1989.
- (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(第二版), pp.381-395, 1999.
- <http://www.data.kishou.go.jp/index.htm>
- (社)地盤工学会編：地盤調査法, pp208-212, 1995.
- Reynolds, W., D.: Saturated hydraulic conductivity: Field measurement, *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Lewis Publishers, pp.599-613, 1993.
- 森井俊広・井上光弘・竹下祐二：プレッシャーインフィルトロメータ法を用いた土の原位置透水試験方法, 農業土木学会論文集, No.204, pp.149-158, 1999.