

水砕スラグを利用した透水性舗装の アルカリ化抑制に関する実験的研究

Experimental research regarding alkalization restraint of the permeable pavement that utilized a granulated slag

山田真吾[†]・建部英博^{††}
By Shingo YAMADA, Hidehiro TATEBE

Abstract : The present pavement is structure that does not infiltrate a rain water. Reason that prevents a bearing capacity decrease of a subbase/subgrade by the infiltration of water. A granulated slag occurs as a by-product, when a pig iron is manufactured. A granulated slag demonstrates a latent hydraulic property by an alkalinity stimulation. A subbase and subgrade that has the sufficient permeability, without causing a strength decrease by the infiltration of water by this can be produced. But, water that passed following the influence of an alkalinity stimulation medicine shows strong alkalinity. It is conceivable that this exerts a bad influence on environment. The purpose of this research is to restrain the alkalization of water passed a subbase and subgrade. Examining the combination of an alkalinity stimulation medicine that adds it to a granulated slag it is to maintain sufficient strength and permeability. It is examining about whether this material is able to apply to a roadway as a permeable pavement.

1. はじめに

道路は人や物の移動を支える交通機能に合わせて、街区を形成し、通風、採光、防災などのための空間として、あるいは各種公益施設を収容するための空間として機能し、良好な居住空間の形成という大きな役割を担っており、国土構造の骨格として、広域的な交流を支え、国土の均等ある発展のための社会基盤として重要な公共施設であるといえる。しかし、近年では、従来の機能のほかに、表層を排水性にするなどの舗装目的の多様化、高機能化と広範囲なものが求められてきている。排水性舗装は夜間視認性の向上、ハイドロプレーニング現象の防止などの利点がある。透水性舗装は排水性舗装を一步進め、基層、路盤を通じて路床以下にまで水を浸透させる舗装である。車道に適用出来れば、排水性舗装の利点に加え、氾濫の抑制や、地下水の涵養、夏期気温の低下や街路樹の活性化なども期待できるが、耐久性や支持力の低下などが懸念されるため、現在では荷重条件の緩やかな歩道に

適用されてはいるが、車道には使用されていない。

2. 透水性舗装

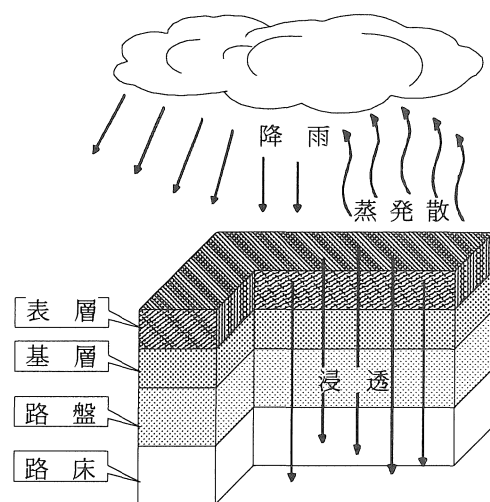


図-1 透水性舗装の仕組み

[†]愛知工業大学大学院建設システム工学専攻(豊田市)

^{††}愛知工業大学土木工学科(豊田市)

通常の舗装は、その耐久性を向上させるため、水密性の構造とし、アスファルト混合物、路盤・路床層に水を浸透させず、雨水はすべて表面排水として側溝、下水等で処理されている。これに対し透水性舗装は、図-1 に示すように、雨水を空隙の多い多孔質な表層・基層から路盤・路床を通し地下に浸透させ、また蒸発散させることを目的としている。透水性舗装は、その構造から本来自然が持っている水循環に近づける効用が期待できる。しかし、路盤・路床層に雨水を浸透させれば、含水比が増大することによる軟弱化が想定され、車道に使用した場合には輪荷重に対し、十分な支持力が得られなくなることが考えられるため、車道にはあまり適用されていないのが現状である。

3. 研究目的

透水性舗装の雨水の浸透による路盤・路床層の支持力低下を改善する方法として、銑鉄を製造する際に副産物として生成される水砕スラグに、アルカリ性刺激剤(生石灰・微粉碎した水砕スラグ(以下 RM とする))を添加することで潜在水硬性を発揮させ、結合することで強度が強くなり、浸水によって強度低下を起こさない改良路盤・改良路床を開発してきた¹⁾。しかし、このようにして製作した路盤・路床層を通過した水はアルカリ性刺激剤などの影響を受け、アルカリ性となり地中に浸透し、環境に悪影響を与えることが懸念される。本研究では、路盤・路床に必要な強度を有し、さらに通過した水のアルカリ化を抑制し、環境に及ぼす影響を軽減する方法を模索し各種材料、配合等を変化させ、その可能性について検討したものである。

4. 通過した水のアルカリ化

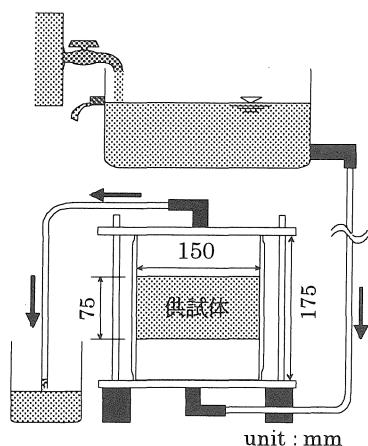


図-2 通水試験装置概略図

アルカリ性刺激剤として生石灰、微粉碎した水砕スラグを使用した供試体に水道水を通過させ、その pH を計測した。試験装置の概略図を図-2 に示す。

定水位で供試体は 3 層 42 回突きと同等の 2 層 38 回で厚さ 75mm になるように締め固め、含水比を 11% として水砕スラグ 95%、生石灰、RM それぞれ 2.5% ずつ配合した。水砕スラグを利用した改良路床は空中 14 日養生以降、強度にあまり大きな変化が見られないことから¹⁾、供試体を空中 14 日養生した後、通水試験を行った。結果を図-3 に示す。

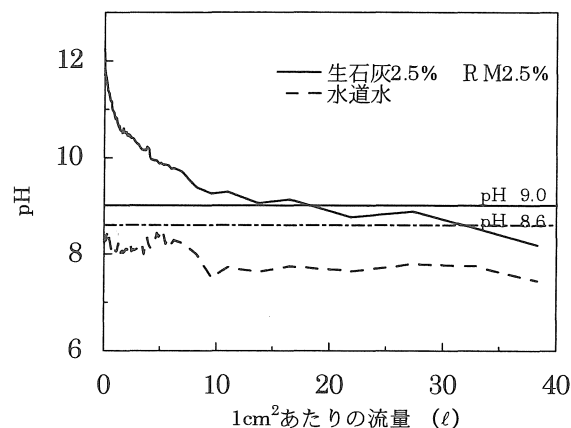


図-3 通水試験結果 1

強いアルカリ性を示す生石灰の影響を受けて通水開始時の pH が 12 と非常に高く、また環境に影響がなくなると考えられる pH8.6 を示すまでに、 35 l/cm^2 の連続流量を必要とし、実際の降雨状況から考えると実用的でない。

5. 消石灰の使用と強度比較

排出される雨水がアルカリ性を示す主な原因として、水砕スラグにアルカリ性刺激剤に使用する生石灰などの強いアルカリ性を持つ材料の影響を受けていることがあげられる。また、生石灰は水と反応することで水和熱を発生し、保管管理や施工時の危険性なども考えられる。消石灰は生石灰を消化させることで生成されるため、発熱反応がない。また生石灰よりも若干 pH の低いことから排出する雨水の pH も軽減することが期待できる。このため生石灰に変え、消石灰を使用した場合について、生石灰を使用した配合と強度比較を CBR 試験で行った。水砕スラグ 95%、生石灰 2.5%、RM 2.5%、含水比 11% のもの、水砕スラグ 95%、消石灰 2.5%、RM 2.5%、含水比 11% の 2 種を 3 層 42 回突きで締め固め、空中養生で行い、養生日数の違い

による強度比較をした結果を図-4 に示す。

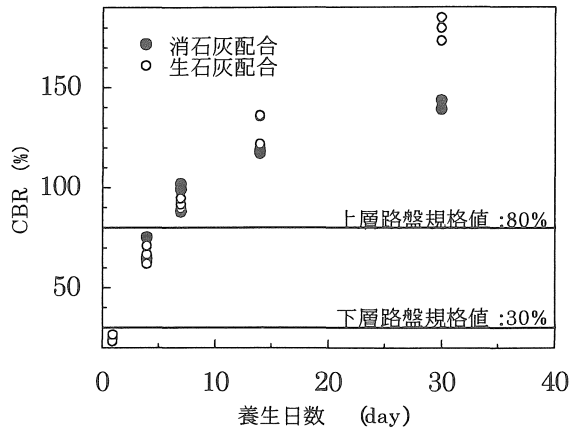


図-4 生石灰と消石灰の強度比較

生石灰配合、消石灰配合ともに養生日数が長くなるにつれて、CBR は上昇しており、消石灰を使用しても水和反応の状態は良好である。14 日養生以降、生石灰配合のものと強度に開きが生じるが、図中に示す下層路盤の規格値、CBR30%を 4 日養生、上層路盤の規格値 CBR80%を 7 日養生で両配合とも満たし、その後の養生において強度は上昇し、十分な支持力を持っていることから、アルカリ性刺激剤に消石灰を使用しても路盤・路床の役目は十分に果たすものと考えられる。次に、消石灰を使用した際の最も強度を発揮する配合を調べるため、アルカリ性刺激剤を 5%とし、消石灰と R M の配合を変化させて 3 層 42 回突き、含水比 11%、空中 7 日養生で CBR 試験を行い強度を比較した。結果を図-5 に示す。

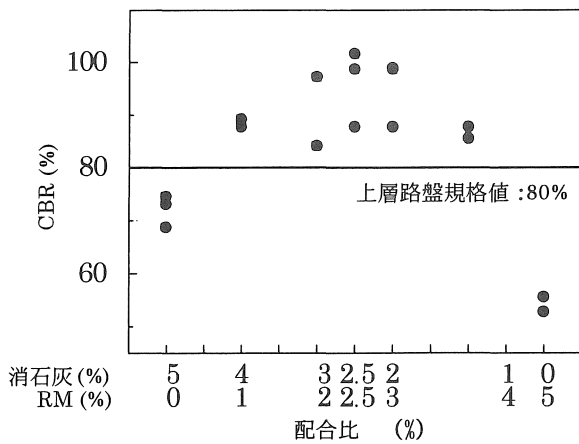


図-5 消石灰使用時の配合変化-CBR 値

図-5 より、消石灰と R M が共に配合されているものは、すべて CBR 値で 85%以上を示しており、十分

な水和反応を起こしている。このことより RM が強度を上昇させる作用があると考えられる。中でも消石灰 2.5%、R M 2.5%で配合したものは CBR 値 100%付近を示した。また RM のみの配合では著しく他の配合と CBR 値に差があることから消石灰に比べ pH 値が低く、潜在水硬性を十分に発揮させることができなかったと考えられる。

6. 消石灰配合での通水試験

空中 7 日養生時において十分な水和反応がみられ、強度を発揮した消石灰と R M をともにアルカリ性刺激剤として使用した配合について、配合の変化が通過した水の pH にどのように反映されるかを調べる目的で、図-3 に示した試験方法と同様に通水試験を行った。結果を図-6 に示す。

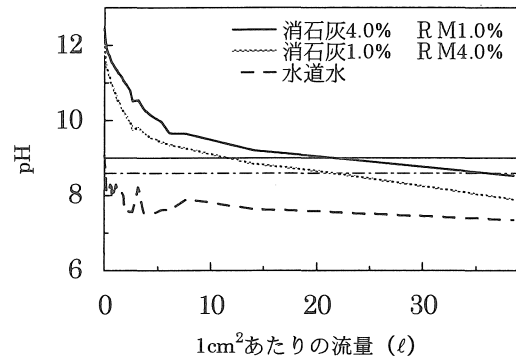


図-6 a) 通水試験結果 2

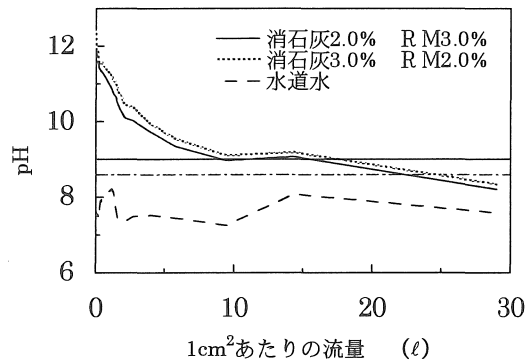


図-6 b) 通水試験結果 3

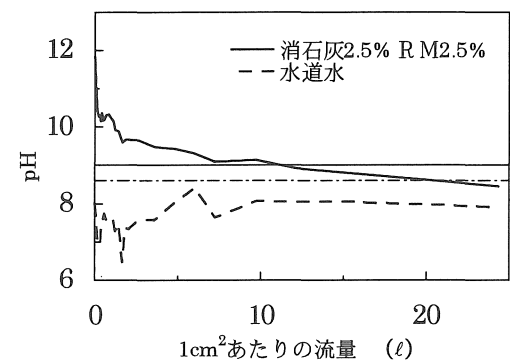


図-6 c) 通水試験結果 4

図中に実線で pH9 と目標値である pH8.6 を破線で示した. それぞれの目標値に達する流量と, CBR 値の一覧を表-1 に示す.

表-1 通水試験結果一覧

| 配合 (%) | | 通水開始時 | pH9.0時の流量 | pH8.6時の流量 | CBR値 (%) |
|--------|-----|-------|-----------|-----------|----------|
| 消石灰 | RM | pH | (ℓ) | (ℓ) | |
| 4.0 | 1.0 | 12.4 | 20.0 | 35.0 | 88.3 |
| 3.0 | 2.0 | 12.3 | 17.4 | 25.0 | 92.7 |
| 2.5 | 2.5 | 11.8 | 11.0 | 20.0 | 96.3 |
| 2.0 | 3.0 | 12.4 | 9.0 | 22.0 | 95.0 |
| 1.0 | 4.0 | 12.0 | 12.0 | 22.5 | 87.0 |

| 生石灰 | RM | 通水開始時 | pH9.0時の流量 | pH8.6時の流量 | CBR値 (%) |
|-----|-----|-------|-----------|-----------|----------|
| | | pH | (ℓ) | (ℓ) | |
| 2.5 | 2.5 | 12.2 | 18.5 | 32 | 91.6 |

すべての配合において水道水の pH が一定でないことから, 確実な傾向を読み取ることは難しいが, 通水開始時は pH12 付近であり, 生石灰を使用した配合と同程度で, 消石灰を使用し, 配合を変化させたことによるアルカリ化抑制の効果はあまりみられない. PH9.0, pH8.6 に達する流量についても, 強いアルカリ性を示す消石灰量が多いものほど多くの流量を必要とし, アルカリ性刺激剤の配合に消石灰や生石灰などの強いアルカリ性を示すものを減少させることで通過した水に反映されていることがわかる. しかし, 生石灰を含めたすべての配合において, 大きな差は見られないことからアルカリ性刺激剤の検討がさらに必要である.

7. 石膏の使用と効果

石膏自体の pH は 6.7 程度とアルカリ性刺激剤としての効果は期待できないが, 水砕スラグの潜在水硬性が, アルカリ性刺激剤により顕在化し, 水和反応により硬化する過程で, カルシウムシリケート水和物 (CaO-SiO₂-H₂O) および, カルシウムアルミネート水和物 (4CaO-Al₂O₃-13H₂O) を生成する. この二つによりセメントのように水砕スラグは硬化する. ここに石膏が存在することで, カルシウムシリケート水和物とエトリンガイド (3CaO-Al₂O₃-3CaSO₄-32H₂O) が生成され水和反応が促進されると考えられている. 石膏が水和反応をどの程度促進する作用があるかを検証するため, 消石灰での配合で最も強度を発揮した消石灰 2.5%, RM2.5%の配合に石膏を 1%添加し, 水砕スラグを 94%として, 含水比 11%, 3層 42 回突きで締め固め, 空中 7 日養生で CBR 試験にて比較した. 結果を表-2 に示す.

表-2 石膏添加による強度比較

| 水砕スラグ (%) | 消石灰 (%) | RM (%) | 石膏 (%) | CBR値 (%) |
|-----------|---------|--------|--------|----------|
| 95 | 2.5 | 2.5 | 0 | 96 |
| 94 | 2.5 | 2.5 | 1 | 133 |

石膏を添加しない配合での CBR 値が 96%であったのに対し, 石膏を添加することで 132%と石膏添加以前に比べ, 4 割程の大きな強度を示した. このことから, 水和反応のあまり見られなかった RMのみ 5%の配合に, 石膏を 2%添加して水砕スラグ 93%, RM5%, 石膏 2%, 含水比 11%で配合し 3層 42 回突きで締め固め, 空中 7 日養生で石膏を添加しないものと比較するため, 同様に CBR 試験を行った. 結果を表-3 に示す.

表-3 RM と石膏の効果

| 水砕スラグ (%) | RM (%) | 石膏 (%) | CBR値 (%) |
|-----------|--------|--------|----------|
| 95 | 5 | 0 | 54 |
| 94 | 5 | 1 | 68 |
| 93 | 5 | 2 | 98 |

RM5%のみにおける配合では CBR 値が 54%であったのに対し, 石膏を 1%添加することで CBR 値 68%, 2%添加すると 98%と大きな強度上昇を示し, 消石灰や生石灰よりも pH の低い RMのみでも水和反応を起こし, 十分な強度を発揮した.

8. 石膏を添加した配合における通水試験

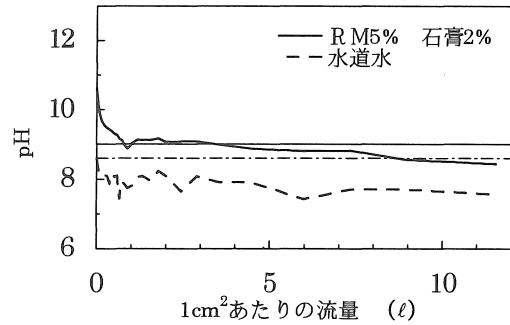


図-7 RM と石膏の配合における通水試験

RM のみアルカリ性刺激剤として使用し, 石膏により水和反応を促進させ, pH の低いアルカリ性刺激剤により製作した供試体に対して通水試験を行い, その効果を検証した. 図-7 はその結果である. 図中に実線で pH9.0, 破線で目標である pH8.6 を示す. 通水開始時には pH10.6 と消石灰, 生石灰を使用した配合に比べ大きく pH 値は減少し, 通過させた水道水も 8.5ℓと大きく改善されている. すべての配合における通水試験結果と空中 7 日養生時の CBR 値を表-4 に示す.

表-4 通水試験結果と空中7日養生時の CBR 値

| 配合 (%) | RM | 通水開始時 pH | pH9.0時の流量 (ℓ) | pH8.6時の流量 (ℓ) | CBR値 (%) |
|--------|-----|----------|---------------|---------------|----------|
| 4.0 | 1.0 | 12.4 | 20.0 | 35.0 | 88.3 |
| 3.0 | 2.0 | 12.3 | 17.4 | 25.0 | 92.7 |
| 2.5 | 2.5 | 11.8 | 11.0 | 20.0 | 96.3 |
| 2.0 | 3.0 | 12.4 | 9.0 | 22.0 | 95.0 |
| 1.0 | 4.0 | 12.0 | 12.0 | 22.5 | 87.0 |
| 生石灰 | RM | 通水開始時 pH | pH9.0時の流量 (ℓ) | pH8.6時の流量 (ℓ) | CBR値 (%) |
| 2.5 | 2.5 | 12.2 | 18.5 | 32.0 | 91.6 |
| 石膏 | RM | 通水開始時 pH | pH9.0時の流量 (ℓ) | pH8.6時の流量 (ℓ) | CBR値 (%) |
| 2.0 | 5.0 | 10.6 | 3.5 | 8.5 | 98.0 |

消石灰、生石灰を使用した配合は通水開始時の pH がすべて 12 付近で目標値である pH8.6 時の流量は最も少ないものでも 20ℓ 要しているが、微粉碎した水砕スラグに石膏を添加した配合は通水開始時の pH は 10.6、pH9.0 時の流量においても 3.5ℓ、pH8.6 時の流量は 8.5ℓ と大きく改善されている。生石灰配合における路盤・路床層を通過した雨水は、通常 1 ヶ月以上経過しても pH12 以上であり、通水試験の結果と合わせると通水開始時の pH が長く持続されていることについても改善される可能性が考えられる。これより配合を微粉碎した水砕スラグ 93%、微粉碎した水砕スラグ 5%、石膏 2% と決定し、以後の試験を行った。

9. 改良路床の評価

前項において決定した水砕スラグ 93%、RM5%、石膏 2% で配合する改良路床について、支持力、透水性能、保水性能を評価し、透水性舗装の路盤・路床材としての妥当性を調べる。

9.1 支持力の評価

9.1.1 空中養生

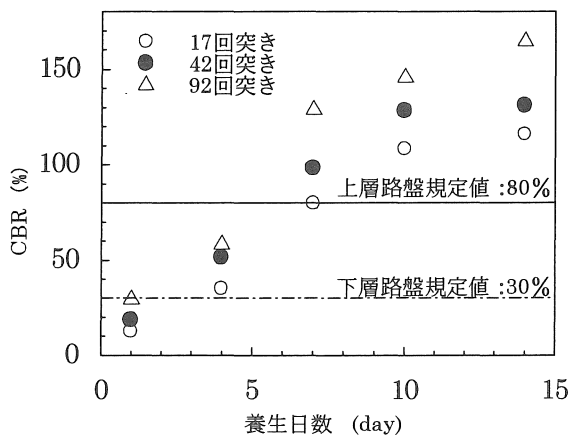


図-8 空中養生日数と CBR 値

水砕スラグを利用した改良路床がアスファルト舗装要綱に定められた規格値を満たす、養生条件、締め固め方を求めるために CBR 試験を行った。供試体は 3 層で締め固め回数を 17, 42, 92 回と変化させて製作し、養生日数を 1, 4, 7, 10, 14 日の空中養生とした。結果を図-8 に示す。図-8 より、水砕スラグ 93%、RM 5%、石膏 2% の配合で製作した改良路床は突き固め回数が 17 回 (乾燥密度: 1.47g/cm³) と少なくとも、4 日の養生期間で満たすことができる。突き固め回数 92 回 (乾燥密度: 1.59g/cm²) においては、下層路盤の規格値、修正 CBR30%以上を 1 日養生で満たし、7 日養生することで、上層路盤の規定値、修正 CBR80% を満たす。締め固め回数が少なくとも養生期間が長くなるに連れて CBR 値は上昇していくことから、長期養生をすれば問題はなく、逆に養生期間に余裕がないときは、十分に締め固めることで上層を施工できると考えられる。

9.1.2 水中養生

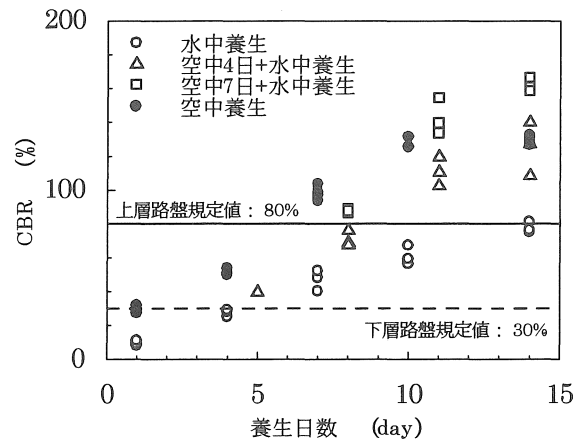


図-9 水中養生と CBR 値

図-9 は施工直後に降雨があった場合を想定し、水中養生を行った結果である。製作直後から水中養生を行ったものは、空中養生に比べ、強度を発揮するまでにやや多くの時間を必要とするが、長期養生をすることで、緩やかに強度上昇するため、施工直後に降雨があり、含水比が大きく増加した場合でも、養生期間を十分に取ることで使用できると考えられる。また空中養生を行った後に水中養生を行ったものは、CBR 値が 10%程度低下し、その後上昇している。これは供試体を水浸することで、反応を起こさずに残存しているアルカリ性刺激剤が反応することで、結合している個所を溶解し、その後の養生で再び水和反応が起こるためと考えられる。

9・2 透水性能の評価

9・2・1 空隙量の評価

透水性を持つ混合物において、空隙率はその機能性の一つの指標になる。空隙の概略図を図-10 に示す。

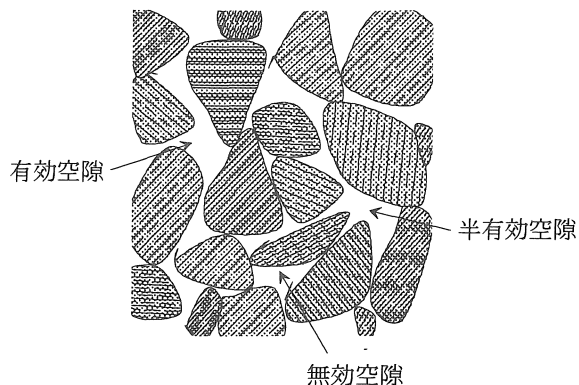


図-10 空隙の概略図

図-10 のように、貯水・通水に寄与する空隙を有効空隙、通水はしないが、貯水に寄与する空隙を半有効空隙、貯水・通水のどちらも寄与しない空隙を無効空隙という。これより、正確な混合物の機能性を評価するため、有効空隙と半有効空隙を合わせた連続空隙による評価を行った。

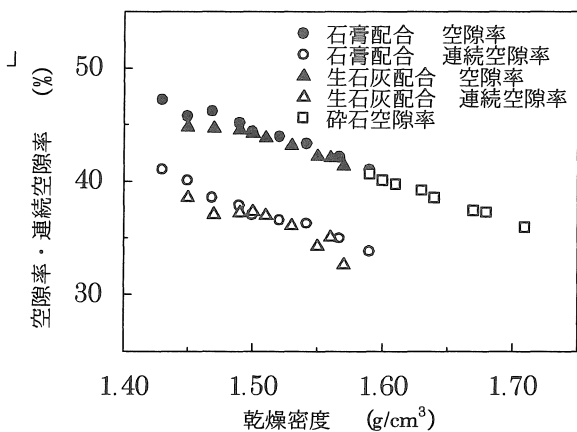


図-11 乾燥密度と空隙率・連続空隙率

図-12 に従来の生石灰を配合した供試体,石膏とRMを使用した供試体および砕石路盤 (C-20) をそれぞれ締め固めを変化させて空隙率と連続空隙率を計測した。すべての供試体において空隙率はほとんど差はみられないが、石膏とRMを使用したものでは1日の養生でCBR値30%を満たす乾燥密度 1.59g/cm^3 において、空隙率は41.0%、透水、保水に寄与する連続空隙率は33.7%と空隙率の8割と非常に大きな割合であること

から、透水能力が高いことが期待できる。

9・2・2 透水能力の評価

石膏とRMを使用した改良路床が透水性舗装の路床材として適応できるかを検証するため透水試験を行った。水砕スラグの粒径が砂と同程度であることから、試験方法は図-12 に示すように定水位透水試験で行った。また改良路床は空隙率が大きいため、乱流 ($Re \geq 1$) となる。動水勾配を大きくすることで透水係数は安定する²⁾ ことから水頭差を105cm、供試体の厚さを6~7cm程度と動水勾配を大きくして行った。

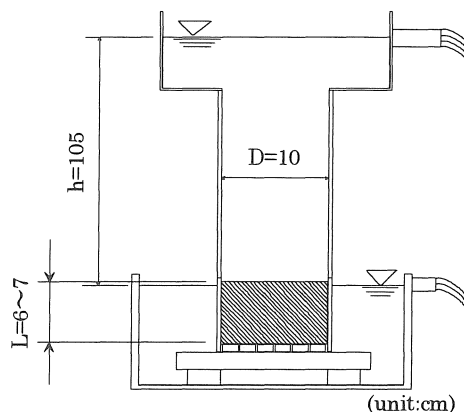


図-12 透水試験概略図

ダルシー測が適用できるものと仮定すると、雨水の浸透速度は次式で与えられる。

$$v = KI \quad \dots (1)$$

動水勾配 $I \doteq 1$ であることから浸透速度は透水係数 K に等しくなる。これより1時間あたりの排出可能雨量を浸透速度より算出したものを図-13 に示す。

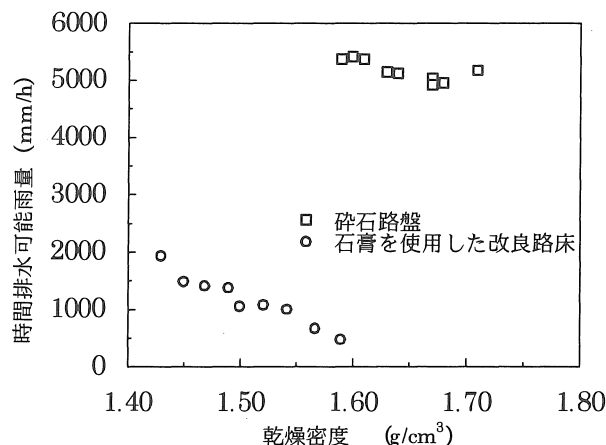


図-13 時間排水可能雨量と乾燥密度

改良路床は1日の養生でCBR値30%に達する乾燥密度 1.59g/cm^3 (連続空隙率:33%) において時間排

水可能雨量は 458mm/h であり、一般に設計する際に使用される 50mm/h を十分に透水できることから、養生期間を短くし、十分な締め方めを行っても透水能力は確保され、透水性舗装の路床材として使用できる透水能力を持つと考えられる。

9・3 保水能力の評価

都市開発により地表面は道路舗装や構造物で覆われ、植生の除去などにより不透水域の拡大により、自然環境のもとでは地中に浸透、貯水されていた雨水が直接流出される割合が高くなるのが考えられる。これより都市部の雨水排水の強化によって一時的流出量の増大は排水施設への負担を晴天時の数倍も大きくすることがあり、洪水のピーク流出量は増加してしまう可能性がある。

透水性舗装では、路床、路盤層までが貯水範囲と大きな貯水能力が期待できる。この貯水効果により、先にした排水施設への負担は軽減され、流出時間の延長につながるが考えられる。このことから、現在歩道に適用されている透水生保層に使用する碎石路盤と本研究で製作した石膏と微粉碎した水砕スラグを配合した改良路床について貯水能力がどの程度あるかを計測した。改良路床と碎石路盤を 3 層 42 回突きで締め固め、空中 14 日養生を行い浸水して空隙を水で満たした。その後気温 20°C の状態で空中に放置して、時間の経過ごとに供試体の重量を測定し供試体内の水の量を計測した。

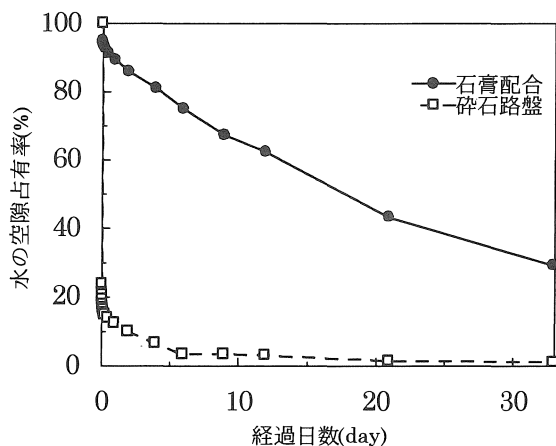


図-14 保水性能の比較

供試体の空隙率は改良路床 44.3%，碎石路盤 37.8% であった。図-14 より碎石路盤は、1つの空隙が大きいため、空中放置後 1 時間において急激に排水し、水の空隙占有率が 20% まで低下したのに対し、改良路床は、碎石路盤よりも大きな空隙率を持っているが、1

つの空隙が小さく、毛管現象の効果により保水能力を持ち、1 日経過時で 15% 程度、以後は緩やかに排水し、30 日経過時でも 30% 程度水が空隙を占有している。これより改良路床は降雨による水の供給がなくても 1 ヶ月以上保水することが可能である。

10. 透水性舗装の構造設計とその効果

10.1 構造設計

アスファルト舗装要綱には水砕スラグを路床路盤に使用した場合、等値換算係数は上層路盤が 0.55，下層路盤が 0.25 と記されている。本研究で開発した水砕スラグ 93%，RM5%，石膏 2% の改良路床は支持力試験の結果から、規格値を上回ることが考えられるため、等値換算係数を推定した。

その地点の CBR は路床面以下 1m までの各層の CBR を用いて以下のように表される。

$$CBR_m = \left\{ \frac{h_1 CBR_1^{\frac{1}{3}} + h_2 CBR_2^{\frac{1}{3}} + \dots + h_n CBR_n^{\frac{1}{3}}}{100} \right\}^3 \dots (2)$$

ここに、 CBR_m : m 地点の CBR

$CBR_1, CBR_2 \dots CBR_n$: m 地点の各層の CBR

$h_1, h_2 \dots h_n$: m 地点の各層の厚さ (cm)

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n = 100$$

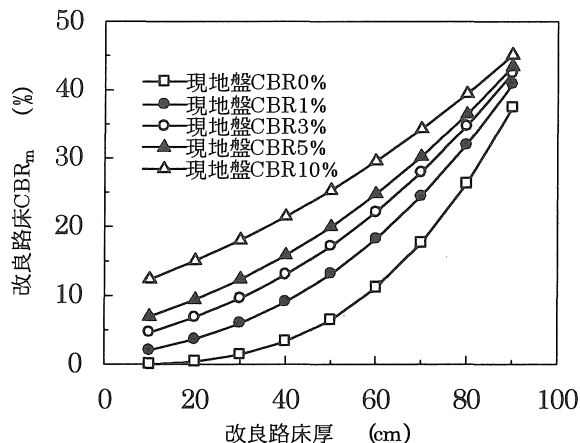


図-15 改良路床に置き換えたときの CBR 値変化

図-15 は石膏と微粉碎した水砕スラグを使用した改良路床を 4 日空中養生したときの条件で得られた CBR 値 51.3% のものを現地盤と置き換えたときの CBR 値変化を表したものである。これより、現地盤の

CBR 値が 0%であっても改良路床に 50cm 置き換えることで CBR 値を 10%まで引き上げることができる。路床・路盤材の弾性係数と CBR には以下のような関係がある。

$$E = 100 \times CBR \quad \dots (3)^{4)}$$

弾性係数と等値換算係数の換算式は以下ようになる。

$$a_n = 0.313 \times \log A + 0.616 \quad \dots (4)^{4)}$$

$$(A : E / 10^4 \text{ (kgf/cm}^2))$$

式 (3), (4) より乾燥密度 1.51g/cm³における養生日数と等値換算係数は表-5 のようになる。

表-5 養生日数と等値換算係数の関係

| 養生日数 | CBR | 弾性係数 | an |
|------|-------|-------|------|
| 1 | 18.5 | 1850 | 0.39 |
| 4 | 51.3 | 5130 | 0.53 |
| 7 | 98.0 | 9800 | 0.61 |
| 10 | 128.2 | 12820 | 0.65 |
| 14 | 131.0 | 13100 | 0.65 |

設計条件は C 交通で、上層路盤に 7 日養生のものを、下層路盤に 4 日養生を使用した場合を想定し、先に挙げた諸数値から断面を設計した例を表-6 に示す。

表-6 設計断面例

| | 従来の設計 | 推定等値換算係数による設計 路床改良なし | 推定等値換算係数による設計 路床改良あり |
|----------------|-------|-------------------------|-------------------------|
| 表層+基層 | 15 | 15 | 15 |
| 上層路盤 | 25 | (an=0.61) 34 | (an=0.61) 21 |
| 下層路盤 (改良路床) | 25 | (an=0.53) 8 | (an=0.53) 20 |
| 全体施工厚 | 65 | 57 | 56 |
| TA | 35 | 35 | 28 |
| 路床面からの高さ | 65 | 57 | 36 |

表-6 に示すように、アスファルト舗装要綱に記載されている従来の等値換算係数を使用したものより、本研究で開発した改良路床を持たないもので路床面から 8cm、改良路床を持つものになると 29cm も薄くすることができ、断面に制約がある場所でも有効である。

10.2 透水性舗装の地表面温度抑制の効果

透水性舗装の効果の一つとして夏期路面温度の抑制が上げられる。ここでは、名古屋市の舗装がすべて透水性舗装であると仮定したときの、舗装面の熱量抑制について一例をあげる。

名古屋市の総面積は、326.35km²である。そのうち

道路面積は 16.2%で 52.87km²、その舗装率は 98.9%により舗装面積は 52.29km²となる。この舗装面積の 50%である 26.15km²が透水性舗装であると仮定し、熱量の軽減を算出する。

地表面に降り注ぐ熱量は太陽定数とよばれ、1cm²当りの熱量で表される。

$$S = \text{太陽定数} = 2.00 \pm 0.004ly / min \quad \dots (5)^{5)}$$

この太陽定数は広く用いられている。また、太陽定数の年々の変動は極めて小さく、全体用放射の真の変動は全体の 1%にすぎない。地球が短時間に受け取る太陽放射の総量は、地球の半径を a とすると、単位時間あたり単位面積が受け取るエネルギーは式 (5) より、以下の式で表される。

$$Q_a = \frac{\pi a^2 S}{2\pi a^2} = \frac{S}{2} = 1.0ly / min = 526kly / yr \quad \dots (6)^{5)}$$

$$(1ly = 1cal / cm^2)$$

これより、地表面が受ける 1 分あたりの熱量は 0.5cal/cm² となる。これは、地球の緯度に関係なく、日光の当たっている地表面が受ける熱量である。これより理論上の日照時間 12 時間について、雲による日光の遮断等を考慮し、日照時間を 8 時間と仮定すると、1 日当りの単位面積当たりの熱量は、

$$1.0 \times 60 \times 8 = 480cal / cm^2 \quad \dots (7)^{5)}$$

よって、名古屋市の舗装面積が受ける熱量は

$$2.615 \times 10^{11} \times 480 = 1.26 \times 10^{11} kcal \quad \dots (8)^{5)}$$

これはガソリン 1ℓ当りの発熱量が 8400kcal であるから、ガソリン約 15000kℓが発熱する熱量に相当し、地表面の温度抑制に大きな効果が期待できる。

また、水 1g が蒸発するのに必要な熱量は 600cal であるから、地表面に降り注ぐ太陽光の熱量がすべて透水性舗装の保水した水の蒸発に使用されるとすると、1 日当り、単位面積当たりで 0.4cm³の水が蒸発することになる。本研究で開発した改良路床を使用した舗装は、交通条件が C 交通において、保水できる路盤・路床層厚は 40cm である。空隙率から保水できる量は単位面積当たり、14cm³となる。ここに総雨量 50mm の降雨があっても、単位面積当たり 5cm³ 全量保水することが可能である。50mm の降雨を全量保水したと仮定すると、保水試験の結果から、7 日間で路床以下に排出される水の量は 1.2cm³、その 7 日間で晴天であったとすると、太陽光による水の減少量は 2.8cm³で路床以下に排水、太陽光による蒸発が同時に進行した場合においても、単位面積当たりの水の残留量は 1.0cm³

となる。よって、7日間降雨がなくても、その後1日地表面の熱量を抑制する効果を持続することが期待できる。

11. 結論

本研究で得られた成果を以下の項目にまとめる。

- 1) 従来、開発してきた水砕スラグを利用した改良路床はアルカリ性刺激剤として生石灰を使用してきたが、水和熱を発生せず、若干pHの低い消石灰を使用しても、潜在水硬性を発揮し、十分な支持力を得ることができ、路床を通過した水のpHは12程度と生石灰を使用したものと同程度のアルカリ性を示し、実用的でない。
- 2) 石膏を添加することで、生石灰や消石灰よりもpHの低いRMのみでも水和反応を促進することで十分な強度を発揮させることができ、アルカリ性刺激剤の影響を押さえることで通過した水のアルカリ化を抑制できる。
- 3) 石膏を使用した改良路床は比較的早い段階で強度を発揮し、養生期間を長く設ける、または十分な転圧を行うことで上層路盤にも適応することができる。また、砕石と同程度の空隙率をもち、透水性舗装の路床材として十分な透水性能を持っており、洪水時などのピーク流量を抑制できることが考えられる。
- 4) 石膏を使用した改良路床は、砕石路盤に比べ非常に大きな保水能力を持っていることから、地表面の温度を低減し、都市のヒートアイランド減少を抑制することが期待できる。

(参考文献)

- 1) 久野晃弘，建部英博：透水性舗装の路床路盤に水砕スラグを利用した実験的研究，平成十年度研究発表会講演概要集，pp545-546，1999.3
- 2) 大川秀雄，原富雄，帆苅浩三：排水性舗装の排水挙動，舗装，pp32-37，1992.7
- 3) 社団法人日本道路学会：アスファルト舗装要綱，丸善株式会社出版部，1996.9
- 4) 鉄鋼スラグ協会：高炉スラグ路盤設計施工指針，1982.5
- 5) 新井正，新藤静雄，市川新，吉越昭久：都市の水文環境，共立出版，1987.2
- 6) 建部英博，大根義男，大谷大三：車道を対象とした透水性舗装の可能性，舗装，pp27-32，1996.6
- 7) 山田真吾，建部英博：水砕スラグを利用した透水性舗装のアルカリ化防止対策について，平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp573-574，2000.3
- 8) 船戸已知雄，田代利明：コンクリートの耐久性と化学の基礎，セメント新聞社，1991.2
- 9) 小林一輔：最新コンクリート工学，森北出版，1992
- 10) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用について，1987.6
- 11) 北澤誠一：透水性舗装歩道舗装の試験施工，舗装，pp22-29，1976.9
- 12) 社団法人セメント協会：セメント・コンクリート化学とその応用，1994.1

(受理 平成13年3月19日)